

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 2

METSÄTEOLLISUUDEN JÄTEVESI-
LIETTEIDEN KOMPOSTOINTI

Jouko Halminen

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 2

METSÄTEOLLISUUDEN JÄTEVESI-
LIETTEIDEN KOMPOSTOINTI

Jouko Halminen

Vesi- ja ympäristöhallitus
Helsinki 1986

~~VESI- JA YMPÄRISTÖ~~
~~HALLITUKSEN KIRJASTO~~

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Julkaisua saa Tampereen vesi- ja ympäristöpiiristä.

ISBN 951-46-9629-8

ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo, Helsinki 1986.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	5
TIIIVISTELMÄ	6
ABSTRACT	7
JOHDANTO	8
1. LIETEMÄÄRÄT JA LIETTEIDEN LAATU	9
1.1 Yleistä	9
1.2 Primäärilietteet	9
1.21 Määrät	9
1.22 Ominaisuudet	9
1.3 Biolietteet	10
1.4 Lietteen fysikaaliset parametrit	10
1.5 Lietteiden esikäsittely	11
1.51 Tiivistys	11
1.52 Kunnostus	11
1.53 Stabilointi	11
1.6 Kuivaus	12
1.7 Loppusijoitus	12
2. METSÄTEOLLISUUSLIETTEIDEN KÄYTTÖ MAANPARANNUSAINEENA	14
2.1 Yleistä	14
2.2 Ravinneaineet	14
2.3 Raskasmetallit	15
2.4 Patogeenit	19
2.5 Muut ympäristölle haitalliset aineet	19
2.6 Hiili-typpisuhde	20
2.7 Hajut	21
2.8 Lietteiden maanparannuskäytön suositukset	21
3. KOMPOSTOINNIN PERUSTEET	24
3.1 Yleistä	24
3.2 Lämpötila	24
3.3 pH	25
3.4 Kosteus	26
3.5 Ravinnepitoisuus	26
3.6 Happipitoisuus	26
4. KOMPOSTOINNIN TEKNIikka	27
4.1 Sekoitus	27
4.2 Aumakompostointi	28
4.21 Ilmastus kääntämällä	29
4.22 Koneellinen ilmastus	30
4.221 Ilmastuksen järjestäminen	31
4.222 Eri menetelmistä	33
4.23 Menetelmien vertailua	34
4.24 Aumakompostointi kylmissä oloissa	36
4.3 Reaktorikompostointi	37
4.4 Lierokompostointi	43
4.5 Seosaineet	44
4.51 Puunkuori	45

4.52	Turve	47
4.53	Muut tukiaineet	47
4.54	Muut seosaineet	48
4.6	Kierrätyskompostointi	50
4.61	Kierrätyskompostointi tukiaineella	50
4.62	Kierrätyskompostointi ilman tukiainetta	51
4.7	Kompostin jälkikäsittely	53
4.71	Seulonta	53
4.72	Lisäaineiden sekoitus	54
4.73	Jälkikypsytytys ja varastointi	54
4.8	Prosessin seuranta ja kompostin kypsyys	55
5.	KOMPOSTIN OMINAISUUDET	58
5.1	Kompostin lannoite- ja maanparannusarvo	58
5.2	Patogeenit	59
5.3	Raskasmetallit	60
5.31	Raskasmetallien haitoista ja niihin vaikuttavista tekijöistä	61
5.4	Kypsyys	62
5.5	Muut ympäristölle haitalliset aineet	62
6.	KOMPOSTITUOTTEEN KÄYTTÖ	64
6.1	Kohteet	64
6.11	Käyttö viher- ja maanrakentamisessa	64
6.12	Käyttö kasvintuotannossa	67
6.2	Kompostin levittäminen	68
7.	KOMPOSTIN MARKKINOINTI	69
8.	KOMPOSTOINNIN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	70
8.1	Kompostointilaitoksia koskevat säännökset ja määräykset	71
9.	KUSTANNUKSET JA KANNATTAVUUS	72
9.1	Kompostoinnin kustannukset	72
9.2	Seulonnan kustannukset	74
10.	LIETTEEN LOPPUSIJOITUSMENETELMIEN VERTAILUA	75
10.1	Yleistä	75
10.2	Lietteen kuljetus kaatopaikalle	75
10.3	Poltto	75
10.4	Palautus prosessiin ja muu hyötykäyttö	76
10.5	Kompostointi	77
11.	KOMPOSTOINNIN TUTKIMINEN	78
11.1	Yleistä	78
11.2	Tutkimukset laboratoriomittakaavassa	78
11.3	Tutkimuksen tekniset järjestelyt	79
11.4	Prosessin seuranta ja tarvittavat analyysit	80
11.5	Ehdotus tutkimussuunnitelmaksi	81
12.	YHTEENVETO	83
	LÄHDELUETTELO	85
	LIITTEET	

A L K U S A N A T

Tämä tutkimus on tehty diplomityöksi Tampereen teknillisen korkeakoulun rakennustekniikan osastolla professori Matti Viitasaaren johdolla Tampereen vesipiirin toimeksiannosta. Työn toisena tarkastajana on toiminut DI Hannu Wirola Tampereen Vesipiirin vesitoimistosta. Heille molemmille haluan esittää parhaimmat kiitokseni.

Tutkimus on rahoitettu piirin vesiensuojelumaksuvaroilla.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia muita henkilöitä, jotka ovat edesauttaneet tutkimuksen suorittamisessa.

Tampereella lokakuussa 1986

Jouko Halminen

TIIVISTELMÄ

Työssä on tarkasteltu kirjallisuustutkimuksena mahdollisuutta käyttää kompostointia metsäteollisuudessa syntyvien jätevesilietteiden loppusijoitusmenetelmänä.

Metsäteollisuuden jätevesilietteet soveltuvat yleensä hyvin kompostoitaviksi. Niiden ravinnepitoisuudet vaihtelevat suuresti, mutta biologisten puhdistusprosessien lietteissä on ravinteita varsin runsaasti. Raskasmetallipitoisuudet näissä lietteissä ovat yleensä alhaisia, eikä mitakaan ympäristölle haitallisia aineita ole havaittu siinä määrin, että ne rajoittaisivat kompostoidun lietteen käyttöä.

Erilaisia teknisiä ratkaisuja tarkasteltaessa on tultu siihen tulokseen, että parhaiten ko. lietteiden kompostointiin soveltuu perinteinen aumamenetelmä, jossa tarvittavana ilma- vuutta lisäävänä seosaineena käytetään metsäteollisuudessa syntyvää puun kuorta.

Kompostoidun lietteen mahdollisina käyttökohteina tulisivat kysymykseen lähinnä maan- ja viherrakennushankkeet, joissa tarvittavat multamäärät ovat suuria, sekä myös muut vastaavat kohteet, joissa yleensä turve- tai kompostituotteita käytetään.

Aumakompostoinnin kustannuksiksi tietyin edellytyksin on arvioitu runsaat 40 mk/m³ valmista tuotetta. Samassa hintaluokassa on eräillä paikkakunnilla multa, joten kompostointi saattaa joissakin tapauksissa olla kannattavaa, mikäli vaihtoehtoisista lietteen poistotavoista aiheutuu kustannuksia. Ongelmia kuitenkin aiheuttanee yksiköiden suuri koko; lietemäärät ovat niin isoja, että niistä tuotetun kompostin markkinointi lienee vaikeaa. Myös aumakompostoinnin suuri tilantarve saattaa muodostua ongelmaksi

ABSTRACT

The possibility of using composting as a utilization method of sludges from pulp and paper industry wastewater treatment is examined in this study.

Sludges from pulp and paper industry wastewater treatment are usually well suited to composting. Their percentage of nutrients vary a lot, but there are sludges of biological wastewater treatment process in ample measure. The percentage of heavy metals in the sludges are usually low. Other substances, harmful for environment, has neither been noticed to such an extent, that they could limit the use of composted sludges.

When examining the different technical solutions, it has been noticed that the best method for composting the sludges involved is the traditional windrow composting. In it the bark from pulp and paper industry is used as the bulking agent that is needed.

The possibilities to use the composted sludge would mainly concern the construction of landscape which needs plenty of earth - as well as in other similar objects where peat or composting products are usually used.

Charges of windrow composting are estimated to be more than 40 mk/m³ processed product. In some regions the earth costs as much, so in some cases composting may be profitable if alternative ways of taking off the sludge would be expensive. Anyway, the big size of the units may cause problems; the amounts of sludges are so big that marketing the compost produced could be difficult. Also the big need of space of windrow composting may cause problems.

JOHDANTO

Metsäteollisuuden jätevesien puhdistuksessa syntyy nykyisin lietettä noin 275 000 t/a, ja määrän on arvioitu nousevan noin 348 000 t/a:iin 1990 - luvun alussa.

Suuri osa lietemäärän lisäyksestä on voimakkaasti yleistyvän biologisen puhdistusprosessin tuottamaa biolietettä, jonka vaikea kuivattavuus aiheuttaa ongelmia lietteen kuivauksessa ja loppusijoituksessa.

Metsäteollisuuden lieteongelmien suuruudesta saa kuvan vertaamalla nykyistä lietemäärää yhdyskuntien puhdistamoilla muodostuvaan lietemäärään 130 000 t/a tai kaatopaikoille viettävän yhdyskuntajätteen määrään 1 200 000 t/a . Metsäteollisuuden ongelmia korostaa suuri yksikkökoko.

Kompostointi on ikivanha keino erilaisten jätteiden saattamiseksi takaisin luonnon kiertokulkuun. Sitä on onnistuneesti käytetty kunnallisten jätevedenpuhdistamoiden lietteiden hävittämisessä ja hyötykäyttöön saattamisessa. Metsäteollisuuden lietteitä ei sen sijaan Suomessa kompostoida, eikä aihetta ole aiemmin perusteellisesti selvitetty. Kun näiden lietteiden hävittämisessä on paljolti tavoitteena niiden saattaminen hyötykäyttöön, on ymmärrettävää, että mielenkiinto kohdistuu myös kompostointiin.

Tässä lähinnä kirjallisuustutkimuksena esitettävässä työssä on ollut tarkoituksena selvittää mahdollisuuksia ko. lietteiden kompostoimiseen, lietteiden erityispiirteitä, teknisen toteutuksen vaihtoehtoja, tuotteen ominaisuuksia ja käyttökohteita sekä kustannuksia. Työssä on pyritty käsittelemään kompostointia niin monipuolisesti, että ko. lietteiden käsittelyn mahdollisuuksia tällä menetelmällä voitaisiin arvioida ja että kompostoinnin tekninen toteutus ja prosessin seuranta onnistuisivat, mikäli kompostointiin päädytään.

1. LIETEMÄÄRÄT JA LIETTEIDEN LAATU

1.1 Yleistä

Metsäteollisuuden jätevedet sisältävät monia puuaineksesta peräisin olevia yhdisteitä, prosessissa käytettyjä kemikaleja sekä näiden yhdisteitä.

Jätevesien lietteillä ymmärretään ns. ulkoisessa jätevesien käsittelyssä erotettavaa kiintoainesta. Lietteet voidaan jakaa mm. seuraavasti (Väänänen 1984):

- esikäsittelyn jätteet (välppäjätteet, hiekka ym.)
- kuorivesiselkeyttimen liete
- sellu-, paperi- tai kartonkitehtaiden kuitupitoisten jätevesien selkeyttimien liete (kuituliete)
- biologisten käsittely- yksiköiden liete
- kemialliset lietteet

1.2 Primäärilietteet

1.21 Määrät

On arvioitu, että puunjalostusteollisuudessa v. 1983 syntyi kuitupitoisia lietteitä n. 340 000 t/a. Tästä määrästä vesistöön joutui n. 65 000 t/a. Talteen otetun kuitulietteen määrä on siis n. 275 000 t/a ja sitä käytettiin seuraavasti (ETY 1983):

- palautus prosessiin 45 000 t/a
- polttoon 70 000 t/a
- kaatopaikoille 140 000 t/a
- muu käyttö 20 000 t/a

Puunjalostusteollisuuden alapuolisiin vesistöihin on vuosikymmenien mittaan sedimentoitunut pääasiassa kuitupitoista lietettä, jota saattaa olla purkuputkien lähistöllä jopa yli 10 m:n paksuisia patjoja. Tämän lietteen määräksi on karkeasti arvioitu ainakin 1 500 000 t. Kuitupitoisten primäärilietteiden määrän on arvioitu 1990-luvulle tultaessa nousevan n. 294 000 t:iin/a (Jäppinen ym. 1985).

1.22 Ominaisuudet

Kuitujen osuus metsäteollisuuslietteiden kuiva- aineista vaihtelee 40...100 % . Lietteiden toisen pääkomponentin muodostavat paperin ja kartongin täyteaineet, joiden osuutta mitataan lietteen tuhkapitoisuutena. Lietteen tuhkapitoisuus vaihtelee valmistettavan tuotteen mukaan, mutta koska täyteainehäviöt ovat suhteellisesti kuituhäviöitä suuremmat on niiden suhteellinen osuus lietteissä suurempi kuin vastaavassa tuotteessa. Hienopaperitehtaiden lietteissä ovat 50...60 % tuhkapitoisuudet tavallisia, deinking- lietteissä voi tuhkan määrä ylittää 70 % (Pekkanen 1976). Sulfaatti- tehtaan lietteissä vastaava osuus on yleensä 5...20 % .

Kuitujae voidaan karkeasti jakaa kahteen eri pääryhmään: pitkät kuidut ja hienoaines. On todettu, että hienoaines käyttäytyy erityyppisesti riippuen siitä, onko se peräisin kemiallisesta vai mekaanisesta kuidutusprosessista. Suurimmillaan se on mekaanista massaa sisältävässä lietteessä. Vähimmin hienoainetta, vain muutamia prosentteja, sisältää mäntysulfaattimassaa valmistavan tehtaan liete.

1.3 Biolietteet

Metsäteollisuuden jätevesien käsittelyssä on aktiiviliete-prosessi yleistymässä voimakkaasti. Useita laitoksia on käynnistysvaiheessa, rakenteilla tai suunnitteilla. Kehityksen seurauksena biolietteiden osuus tehtaiden lietemääristä tulee kasvamaan runsaasti. On arvioitu, että 1990-luvun lopulla biolietteitä muodostuu n. 100 000 t/a (Jäppinen ym. 1986).

Biologiseen prosessiin tulee luonnollisesti kiintoainetta, jonka orgaanisestakin osuudesta suurin osa jää hajoamatta bioprosessissa. Tämä kiintoaine ja muodostunut biomassa erotetaan jätevesistä jälkiselkeytyksessä. Erotettava liete (bioliete) koostuu siten biomassasta ja prosessiin ulkoa tulleesta kiintoaineesta. Biolietteessä vaihtelee biomassan osuus 50...75 %:n välillä. Biolietteen aktiivista osaa kuvataan usein lietteen hehkutushäviöllä: VSS ja sen suhteella kiintoainepitoisuuteen: VSS/SS (Väänänen 1984).

Biolietteelle on ominaista, että sen kuivaus on hankalaa verrattuna tavalliseen kuitulietteeseen.

1.4 Lietteen fysikaaliset parametrit

Kuiva- aine:

Lietenäytteestä jäävä kuivan aineen määrä ilmaistaan tavallisesti prosentteina alkuperäisen näytteen painosta, kun näytteestä haihdutetaan vesi 105 °C:n lämpötilassa. Kuiva-aineesta käytetään merkintää TS (Total Solids).

Kiintoaine:

Kiintoaine määritetään suodattamalla lietenäyte ja haihduttamalla suodatusjäännös 105 °C:n lämpötilassa. Tulos ilmaistaan joko prosentteina suodattamattoman näytteen painosta tai mg/l. Kiintoaineessa ei ole mukana liuenneita aineita kuten kuiva-aineessa. Kiintoaine merkitään SS (Suspended Solids).

Hehkutusjäännös:

Hehkutusjäännös määritetään hehkuttamalla kuivattu näyte 550 °C:n lämpötilassa. Hehkutushäviö, joka saadaan vähentämällä hehkutusjäännös kuivatun näytteen painosta, kuvaa lietteen orgaanisen aineen määrää. Jos on kysymyksessä kuiva- aineen hehkutusjäännös, käytetään merkintää VS (Volatile Solids),

kiintoaineesta saadaan vastaavasti VSS (Volatile Suspended Solids). Tulos ilmoitetaan prosentteina kuiva- aineen tai kiintoaineen määrästä (Puolanne 1975).

1.5 Lietteiden esikäsittely

1.51 Tiivistys

Lietteen sisältämä vesi voidaan jakaa kolmeen faasiin, jotka ovat:

- vapaa vesi
- adheesio- ja kapillaarivesi
- solunsisäinen- ja adsorptiovesi

Tiivistyksen tarkoituksena on lietteen kuiva- ainepitoisuuden nostaminen poistamalla suurin osa vapaasta vedestä. Tiivistyksen tuloksena oleva liete on edelleen neste.

Tiivistyksellä päästään seuraaviin tuloksiin (gravitaatio-tiivistin) (Väänänen 1984):

-primääriliete	4 - 10 %	max 15 %
-bioliete	1.5- 3 %	max 4 %

Tiivistysmenetelmiä ovat:

- gravitaatiotiivistys, yleensä kaapimella varustettu
- flotaatio
- separointi

1.52 Kunnostus

Lietteen kunnostuksella pyritään parantamaan lietteen vedenluovutusominaisuuksia. Lietteen kunnostusmenetelmiä ovat lämpökäsittely, jäädytys, pesu, kemiallinen kunnostus sekä kunnostus fysikaalisilla apuaineilla. Kunnostus on suoritettava jokseenkin aina ennen koneellista vedenerotusta, sillä se vaikuttaa prosessin kapasiteettiin ja erotettavan lieteveden laatuun. Tämä tapahtuu sitomalla pieniä, vaikeasti laskeutuvia hiukkasia yhteen tai rikkomalla lietteen kolloidien rakenne lämmön tai jäädytyksen avulla (Vesihallitus 1977).

Puunjalostusteollisuudessa lietteen kunnostusmenetelminä tulevat kysymykseen yleensä vain kemiallinen kunnostus tai kunnostus fysikaalisilla apuaineilla, joina tavallisesti käytetään kuitulietteitä.

1.53 Stabilointi

Stabiloinnilla tarkoitetaan lietteessä tapahtuvan biologisen toiminnan loppuunsaattamista (pysyvä stabilointi) tai keskeyttämistä (tilapäinen stabilointi). Pysyviä menetelmiä ovat mädätys ja lahotus. Tilapäinen menetelmä on ns. kalkkistabilointi. Pysyvillä stabilointimenetelmillä osa liet-

teen orgaanisesta aineesta hajoaa, jolloin syntyy vettä ja kaasuja. Lietteestä voidaan tällöin erottaa lisää vettä laskeuttamalla, jolloin jatkokäsittelyyn menevän lietteen määrä pienenee.

Kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa toteutetaan lietteen stabilointi ennen kaikkea hajujen vähentämiseksi sekä lietteen hygieenisen tason parantamiseksi. Metsäteollisuudessa näitä ongelmia ei yleensä esiinny, mistä johtuen lietteen stabilointia ei juuri toteuteta. Tiivistimen anaerobisesta toiminnasta aiheutuvia hajuhaittoja on metsäteollisuudessa voitu ehkäistä kertaluokkaa pienemmällä kalkkiannostuksella kuin mitä käytetään kalkkistabiloinnissa (Jäppinen ym. 1985).

1.6 Kuivaus

Kuivauksella tarkoitetaan lietteen sisältämän vesimäärän vähentämistä. Kovin vesipitoisen lietteen hyötykäyttö on rajoitettua. Myöskään kaatopaikalle ei kuivaamatonta lietettä pystytä haitatta kovin paljon sijoittamaan. Lietteiden vedenerotusmenetelminä tulevat kysymykseen lietelavat sekä koneellinen- ja terminen kuivaus. Koneellisia lietteiden kuivaimia ovat imusuotimet, suotonauhapuristimet, lingot sekä ruuvi- ja kammiopuristimet.

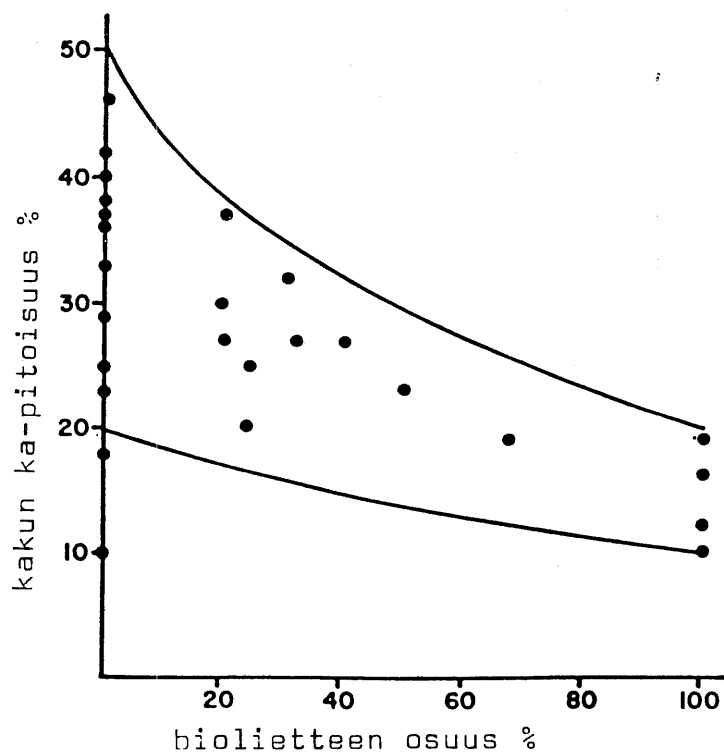
Suomen metsäteollisuudessa lietteet kuivataan yleensä koneellisesti. Uusilla jätevedenpuhdistamoilla suosituin kuivauslaite on suotonauhapuristin.

Lietteiden kuivauksessa saavutettu kuiva-ainepitoisuus riippuu käytetystä laitteistosta ja lietteiden laadusta. Biolietteiden osuuden kasvaessa on kuivatuskustannuksien havaittu kasvavan, ja kapasiteetin ja kakun kuiva-ainepitoisuuden pienevän. Kuvassa 1 on esitetty suotonauhapuristimen kakun kuiva-ainepitoisuus biolietteiden osuuden funktiona.

1.7 Loppusijoitus

Lietteiden määrät v. 1983 on esitetty kappaleessa 1.2. Noin puolet talteenotetusta lietekuiva-aineesta oli silloin hyötykäytössä. Nykyisin polttoon menevän lietteiden kokonaismäärä lienee jo n. 90 000 t/a, koska vuoden 1983 jälkeen lietteenkäsittelyä on tehostettu eräillä tehtailla. Lietteiden palautus prosessiin ja lietteiden poltto ovat täten käytömuodoista merkittävimmät (Jäppinen ym. 1985).

Tosin on todettava, että vuoden 1986 alun alhaisella öljyn hintatasolla poltto lienee kannattamatonta, koska korkeammallakin öljyn hinnalla on poltto yleensä ollut enemmän lietteiden hävitystä kuin energian tuottoa.



Kuva 1. Suotonauhapuristimen kakun kuiva- ainepitoisuus biolietteen osuuden funktiona (NCASI 1978)

2. METSÄTEOLLISUUSLIETTEIDEN KÄYTTÖ MAANPARANNUSAINEENA

2.1 Yleistä

Kunnallisten jätevedenpuhdistamoiden lietteiden hyötykäyttöä harjoitetaan laajassa mitassa. Näiden lietteiden kokonaismäärästä hyötykäyttöön menee yli puolet, kun lietemäärä lasketaan puhdistamoiden piirissä olevien asukkaiden lukumäärän perusteella. Viljelyyn hyödynnetystä lietteestä menee noin 3/4 ja viherrakentamiseen noin 1/4 (MKL 1984).

Puunjalostusteollisuuden jätevesilietteiden käyttöä maanviljelyyn/ viherrakentamiseen ei Suomessa sensijaan harrasteta, eikä aiheesta tiettävästi ole raportoituja tutkimuksia. Kuitenkin esim NCASI:n (1984) USA:ssa tekemän selvityksen mukaan paperi- ja selluteollisuuden jätevesilietteet sopivat koostumusanalyysien, laboratorio- ja kenttäkokeiden sekä täyden mittakaavan kokemuksien mukaan hyvin maanparannuskäyttöön. Esim. Pennsylvaniassa ko. lietteistä käytetään maanparannukseen 13 % .

Myös Neuvostoliitossa on puunjalostusteollisuuden bioliete todettu arvokkaaksi lannoitteeksi (Latschinoff 1979).

Lietteen hyöty perustuu seuraaviin seikkoihin (Koskela 1984b):

- pääravinteet (typpi, fosfori, kalium, kalsium, magnesium)
- hivenaineet (sinkki, kupari, mangaani)
- eloperäinen aines
- kuiva-ainepitoisuus
- kasvualustan maaperä
- viljeltävä kasvi
- levitysajankohta
- haitallisten aineiden määrä

Vastaanottajan kannalta lietteen arvo muodostuu pääasiassa lannoitus-, kalkitus- ja maanparannusvaikutuksesta sekä hivenainelisyksestä.

Koska metsäteollisuuslietteille ei suoriteta kalkkistabilointia, kuten usein kunnallisille lietteille, ei niillä ole mainittavaa kalkitusvaikutusta. Tämä riippuu käytettävän lietteen pH:sta, USA:ssa se on ko. lietteillä vaihdellut välillä 5.0...9.9 (NCASI 1984).

2.2 Ravinneaineet

Lietteessä olevan orgaanisen aineksen maanparannusvaikutuksen arviointi on vaikeata samoin kuin hivenlannoitusvaikutuksen. Varsinaiset ravinteet lietteessä sensijaan vähentävät vastavasti ostolannoitteiden tarvetta. Valitettavasti metsäteollisuuslietteiden ravinnepitoisuuksista Suomessa ei tietoja ole saatavissa. Jonkinlaisen kuvan saamiseksi on taulukossa 1 esitetty metsäteollisuuslietteiden ravinnepitoisuuksia USA:n

puunjalostuslaitoksilla. Vertailun vuoksi on samassa taulukossa vastaavat tiedot kunnallisista lietteistä USA:ssa ja vastaavia tietoja suomalaisille jätevesilietteille ja karjanlannalle.

Taulukosta 1 havaitaan, että USA:ssa on biolietteiden typpipitoisuus ollut varsin korkea, n. 2/3 kunnallisten jätevesilietteiden vastaavasta, kun taas fosforipitoisuus on ollut vain n. 1/5 kunnallisten lietteiden fosforimäärästä. Primääri- ja sekalietteiden N- ja P- pitoisuudet ovat alhaisempia. Muiden ravinteiden osalta ei eri lietteitä taulukossa ole eroteltu, mutta nämä pitoisuudet ovat suhteellisen korkeita ja voidaan olettaa, että biolietteiden osalta ne ovat vielä korkeampia. Ainakin ravinnepitoisuuksiensa puolesta on biolietteiden ja varauksin sekalietteiden käyttö lannoitukseen USA:ssa ollut perusteltua.

Taulukossa 4 on raskasmetallien ohella esitetty joidenkin kuitulietteiden ravinteista N- ja Mg- pitoisuudet, jotka ovat murto- osia esim. kunnallisten lietteiden vastaavista. Lannoitusvaikutusta ei näillä lietteillä olisi.

2.3 Raskasmetallit

Lietteet sisältävät paitsi kasvinravinteita, myös kasveille välttämättömiä hivenaineita kuten mangaania, sinkkiä ja kuparia. Lietteen maatalouskäyttöön liittyy myös vaaratekijöitä, jotka voidaan jakaa kahteen ryhmään: väliaikaisiin ja pysyviin. Edellisiin voidaan lukea mm. hajuhaitat, patogeenit mikro-organismit maaperässä, kasvinravinteiden ja patogeenien huuhtoutuminen pintavesiin, pohjaveden nitraattikontaminaatio sekä eräät kasvitoksiset ilmiöt. Nämä haittailmiöt katoavat yleensä yhden tai vähintään muutaman vuoden kuluttua levityksestä. Pysyviksi ympäristöä vaarantaviksi tekijöiksi taas luetaan lietteiden sisältämät raskasmetallit ja orgaaniset yhdisteet, kuten PCB-, PAH- ja orgaaniset fosforiyhdisteet. Näiden pysyvyys maaperässä on erittäin pitkäaikainen (Ahtiainen 1983).

Raskasmetalleista valtaosa on pieninä pitoisuuksina ihmisille, eläimille ja kasveille hyödyllisiä. Kuitenkin myös tarpeellisten metallien osalta tulee olla varovainen, sillä suurina pitoisuuksina ne saattavat olla haitallisia. Taulukossa 2 on esitetty jätevesilietteiden sisältämien alkuaineiden tarpeellisuus ja myrkyllisyys (Ettala 1978). Andersenin (1977, ref Ettala 1979) mukaan lietteiden sisältämistä raskasmetalleista ovat pelkästään haitallisia vain Pb, Cd ja Hg.

Taulukko 1. Ravinnepitoisuuksia puunjalostusteollisuuden jätevesilietteille USA:ssa, kunnallisille lietteille USA:ssa ja Suomessa sekä karjanlannalle Suomessa (% TS) (NCASI 1984 ; MKL 1984).

ravinne	puunjalostusliete USA	kunnallinen liete, USA	kunnallinen liete, Suomi	karjanlanta
	lietteen laatu mediaani	USA	kuivattu nestemäinen	kiinteä liete
	mediaani	mediaani	keskiarvo	keskiarvo
N	kaikki bioliete primääril. yhdistetty	0.898 2.33 0.27 0.85	3.3	2.0 4.5
P	kaikki bioliete primääril. yhdistetty	0.235 0.42 0.16 0.067	2.3	1.0 1.0
K	kaikki	0.22	0.30	2.0 4.0
Ca	kaikki	1.4	3.9	1.5 1.5
Mg	kaikki	0.155	0.45	0.5 0.5
S	kaikki	0.468	1.1	

Taulukko 2. Jätevesilietteen sisältämien alkuaineiden tarpeellisuus ja myrkyllisyys (Ettala 1978)

	kasveille	eläimille ja ihmisille
välttämätön ravintoaine	H,C,N,O,Ca,Mg,K,P, Fe,Mn,Cu,S,Zn,Mo, B,(Cl,Co)	kuten kasveille, sekä lisäksi Na,Cl,I,Se,F, (Si,Cr,V,Sn,Ni)
epäorgaaninen myrkky		Pb,Cd,Hg,As,Au,Be,Ba
ei vaikuta	Si, Ti, Al, Sr, W, Sn, Ni, Bi	

Puunjalostusteollisuuden jätevesilietteiden on ulkomailta tehtyjen tutkimusten mukaan todettu sisältävän raskasmetalleja huomattavasti vähemmän kuin kunnallisten lietteiden. Taulukossa 3 on esitetty metsäteollisuuslietteiden raskasmetallipitoisuuksia USA:ssa. Samassa taulukossa on vertailun vuoksi vastaavat tiedot kunnallisille lietteille USA:ssa ja Suomessa, sekä raskasmetallien suurimmat sallitut pitoisuudet maanviljelykseen käytetyille lietteille.

Taulukossa 4 on esitetty joitakin analyysituloksia suomalaisille kuitulietteille. Verrattaessa raskasmetallipitoisuuksia taulukon 3 ohjearvoihin, havaitaan pitoisuuksien olevan erittäin alhaisia.

Taulukko 4. Suomalaisten eri kuitulietteiden sisältämiä ainepitoisuuksia (Määttä ja Latola 1980) ja niiden perusteella lasketut C- pitoisuudet ja C/N-suhteet.

		1	2	3	4	5
kuiva-ainetta	%	34.3	14.6	22.4	29.5	15.9
tuhkaa	%	4.4	0.2	4.0	2.7	1.0
kokonais-N	mg/kg	340	130	220	160	560
Cd	µg/kg	4	1	34	2	2
Pb	µg/kg	50	60	260	50	50
Cu	mg/kg	6.0	0.5	2.8	5.4	2.8
Hg	mg/kg	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mg	mg/kg	368	33	371	690	90
Co	µg/kg	440	10	150	210	20
Cr	mg/kg	5.5	0.2	12.0	21.0	2.2
C-%		53	55	53	54	55
C/N		1560	4260	2420	3380	980

näyte 1: jätevesipuhdistamon kuitupuristetta (Ahlström)
 näyte 2: sellutehtaan nollakuitumassaa (Ahlström)
 näyte 3: kuitulietettä (Kaukas)
 näyte 4: kuitulietettä (Nokia)
 näyte 5: jäteliettä (Serlachius)

Taulukko 3. Metallipitoisuuksia puunjalostusteollisuuden jätevesilietteilte USA:ssa, kunnallisille lietteille USA:ssa ja Suomessa sekä raskasmetallien suurimmat sallitut pitoisuudet maanviljelyskäyttöön käytetyille lietteille (mg/kg TS) (NCASI 1984 ; Lääkintöhallituksen yleiskirje 1977).

metalli	puunjalostusliete, USA	kunnallinen liete, USA	kunnallinen liete, Suomi	suurin sallittu pitoisuus, Suomi
	mediaani	mediaani	mediaani	keskiarvo
Cd	1.2	15	3	5
Cr	42	500	37	990
Co	-	10	17	18
Cu	52	800	215	337
Fe	1540	1700	77	125
Pb	28	500	453	540
Mn	155	260	1	2
Hg	0.35	6	2	-
Mo	-	10	34	62
Ni	18.3	80	693	790
Ag	0.55	-	150	1700
Sn	-	150	693	790
Zn	188	1700	693	790

2.4 Patogeenit

Kunnallisten jätevesilietteiden käyttömahdollisuuksia rajoittaa taudinaiheuttajien määrä. Stabiloimatonta lietettä voidaan hyväksyä käytettäväksi ainoastaan välittömästi maahan muokattuna joissakin tarkoituksenmukaisissa kohteissa (nurmet). Eri tavoilla stabiloitujenkin lietteiden käytölle ja käsittelylle on asetettu rajoituksia (Lääkintöhallituksen yleiskirje 1977).

Suomessa tehdyssä tutkimuksessa (Korhonen 1984) selvitettiin kuuden erilaisen paperiteollisuusyksikön jätevesien bakteeripitoisuuksia. Tuskin erehdytään paljoa, jos oletetaan lietteiden bakteeripitoisuuksien ja -lajien olevan likimain vastaavia. Tuloksista ilmeni, että koliformien valtalajina oli Klebsiella pneumoniae, Escherichia colin puuttuessa kokonaan. Fekaalisten streptokokkien pitoisuudet purkuveissä olivat erittäin vähäisiä.

Klebsiella pneumoniae kuuluu suurella osalla ihmisiä suoliston bakteeristoon. Sen kantojen on todettu kuitenkin olevan opportunistisia patogeeneja. Ne voivat aiheuttaa mm. keuhkokuumetta, virtsatieinfektioita ja nenä- ja kurkkutulehduksia. Vaarallisia ne saattavat olla vanhuksille ja erityisesti vastasyntyneille (Korhonen 1984).

USA:ssa tehdyssä selvityksessä (NCASI 1984) ei patogeenien ole todettu aiheuttaneen ongelmia metsäteollisuuslietteiden maatalouskäytössä. Samassa raportissa todetaan, että jätevesistä on löydetty Klebsiella- suvun bakteereita, ja että ko. bakteeri on laajalle levinnyt vesistöihin ja ihmispopulaatioon. Klebsiella on harvoissa tapauksissa yhdistetty sairaalainfektioihin, mutta ei ole todisteita että bakteeri olisi jätevesien tai lietteiden kautta aiheuttanut terveysongelmia.

2.5 Muut ympäristölle haitalliset aineet

Metsäteollisuuden jätevedet sisältävät lukuisia puuaineksesta peräisin olevia yhdisteitä, prosessissa käytettyjä kemikaaleja sekä reaktiotuotteita, kuten hartsihappoja, dierpeenialkoholeja ja aldehydejä, uuteaineita ja ligniinin hajoamistuotteita sekä näiden klooraustuotteita, mm. kloorattuja fenoleja (Vesihallitus 1983).

Ympäristölle haitallisimmat aineet ovat peräisin kuorimolta ja valkaisuvaiheista. Kuorimojätevedet sisältävät mm. luonnollisia puusta peräisin olevia yhdisteitä sekä puunkuoressa käytettäviä puunsuoja- aineita. Paperitehtaissa käytetään limantorjunta- aineita. Sellun kloorivalkaisussa muodostuu jäännösligniinistä valkaisukemikaalien vaikutuksesta erilaisia suurimolekyyllisiä klooriligniineja (Vesihallitus 1983).

Lähes kaikki jäteveden sisältämät aineet sitoutuvat ainakin osaksi jätevesilietteeseen.

Siistauslaitoksen lietteet saattavat sisältää PCB:tä, koska tätä aiemmin käytettiin tietyissä paperilaaduissa. USA:ssa on v. 1980 kolmen siistauslaitoksen lietteistä löydetty PCB:tä 0.6, 0.4 ja 13.5 mg/kg TS. PCB-pitoisuudet ovat kuitenkin laskussa, koska sitä ei enää käytetä papereissa. PCB:n on todettu sitoutuvan tiukasti maaperään, eikä se näinollen helposti huuhtoudu tai kulkeudu kasveihin (NCASI 1984).

Lietteiden sisältämien orgaanisten yhdisteiden ympäristö- ja terveysvaikutuksia on vaikea arvioida. Tämä johtuu osittain vähäisistä tiedoista lietteiden koostumuksesta. NCASI:n (1984) mukaan näiden yhdisteiden vaikutus lietteiden maanviljelyskäytössä kuitenkin yleensä olisi minimaalinen.

2.6 Hiili- typpisuhde

Kuten kunnallisissakin lietteissä, myös puunjalostusteollisuuden lietteissä pääosa tyypestä on orgaanisissa yhdisteissä. Yleensä orgaanisen typen osuus on yli 90 %. Siten lietteen tyyppi ei ole välittömästi levityksen jälkeen käytettävissä, vaan typen mineralisoitumisella on merkittävä osuus lietteen lannoitus/ maanparannuskäytössä (NCASI 1984).

Typen mineralisaatioon vaikuttavat monet tekijät, päälimmäisenä orgaanisen hiilen ja kokonaistypen suhde, C/N-suhde. Mikäli lietteellä on alhainen C/N-suhde, alle 20 - 30:1, tapahtuu maassa typen mineralisoitumista alusta asti ja tyyppi on helposti saatavilla kasvien käyttöön (NCASI 1984).

Mikäli C/N-suhde on suurempi kuin 20 - 30:1, voi maaperässä oleva tyyppi sitoutua aerobisiin mikro-organismeihin, jotka kuluttavat orgaanista ainesta. Nämä mikro-organismit kuluttavat hiiltä ja tyyppiä suhteessa 20 - 30:1 ja tämän suhteen ollessa suurempi ilmenee tilapäistä typen ryöstöä, joka voi vaikeuttaa kasvuston elämää. Hajoamisprosessin myötä C/N-suhde pienenee hiilidioksidin vapautuessa, ja epäorgaanista tyyppiä vapautuu kasvien käyttöön. Lietteiden hyötykäytössä ilmenevän typen immobilisaation aiheuttamien ongelmien ratkaisun avain on immobilisaation keston arvioinnissa. Taulukossa 5 on tutkimustietoja typen immobilisaation kestoista eri puunjalostusteollisuuslietteille USA:ssa (NCASI 1984).

NCASI:n (1984) keräämien tietojen mukaan on USA:ssa primääri-, sekundääri- ja sekalietteiden C/N-suhde vaihdellut väleillä 32-930:1, 6-115:1 ja 13-81:1. Näinollen on monilla sekundääri- ja sekalietteilä välitön ravinnevaikutus maahan levitettäessä.

Metsäteollisuuslietteiden hyötykäyttöä maanviljelyssä ja C/N-suhteen vaikutusta on käsitelty mm. seuraavissa lähteissä: (Watson and Hoitink 1985; Logan and Esmaeilzadeh 1985).

Taulukko 5. Esimerkkejä typen immobilisaation kestosta erilaisille jätevesilietteille puunjalostusteollisuudessa (NCASI 1984)

lietetyyppi	C/N-suhde	immobilisaation kesto
sekaliete	≈ 21-26:1	7 vk
primääriliete	≈ 30-35:1	2-4 vk
sekaliete	≈ 30-35:1	≈ 1 kk
sekaliete	≈ 35:1	4 kk
bioliete	50:1	> 3 kk
primääriliete	≈ 40-70:1	≈ 2 kk, ≈ 11 kk 1)
"	142:1	> 3 kk
"	151:1	> 3 kk
"	≈ 234:1	≈ 1 vuosi 2)

- 1): pidempi ajanjakso sisältää talven johtuen syksylevityksestä, samalla levitetty myös mineraalilannoitetta
 2): sisältää talven johtuen syksylevityksestä

Suomen kylmissä olosuhteissa saattaa korkean C/N- suhteen omaavan lietteen maanviljelyskäyttö aiheuttaa varsin pitkäaikaisen typen immobilisaation.

Taulukossa 4 on laskettu eri kuitulietteille hiilipitoisuudet ja hiili- typpisuhteet, joista jälkimmäiset ovat alhaisen typpipitoisuuksien vuoksi huomattavan korkeat. Ainakaan näiden lietteiden käyttö maanviljelykseen ei olisi perusteltua, koska korkea C/N- suhde aiheuttaisi hyvin pitkäaikaisen typen immobilisaation.

2.7 Hajut

Kunnallisten puhdistamolietteiden käytössä maanparannusaineeksi on todettu suurimpana haittatekijänä lietteen äikeä haju (Virtanen 1979). Haju ja sen häiritsevyys on tietysti vaikeasti määritettävä kysymys, mutta hyvällä omallatunnolla voidaan väittää, ettei puunjalostusteollisuuden jätevesilietteiden maanparannuskäytössä ilmenisi vastaavaa ongelmaa samassa mitassa.

2.8 Lietteiden maanparannuskäytön suositukset

Lietteen käytöstä ja käsittelystä Suomessa annetuissa ohjeissa jätevesilietteellä tarkoitetaan nimenomaan yhdyskuntien jäteveden puhdistuksessa erotettua ainesta. Teollisuudessa syntyvien jätevesien puhdistuksessa erotettujen lietteiden hyötykäytöstä ei ole erikseen annettu ohjeita, eikä tiettävästi edes viranomaisien periaatteellista kannanottoa, vaikka esim. puunjalostusteollisuudessa syntyy lietettä enemmän kuin yhdyskuntien puhdistamoilla.

On arvioitu, että 1990- luvun lopussa metsäteollisuuden biologiset puhdistamot tuottavat n. 100 000 t/a lietekuiva-ainetta (Jäppinen 1986), kun esim. kunnalliset puhdistamot tuottavat nykyään lietteitä kaikkiaan n. 130 000 t/a (TS). Esim Thielin (1984) mukaan paperiteollisuuden lietteet sopivat maanviljelyskäyttöön paremmin kuin kunnalliset jätevesilietteet. Syynä tähän ovat alhaiset raskasmetalli- ja patogeenipitoisuudet.

Lääkintöhallituksen ohjeiden (1977) mukaan on stabiloimattoman lietteen käyttö hyvin rajattua, johtuen taudinaiheuttajien määrästä ja hajuhaitoista. Hygieenisten ominaisuuksien perusteella lietteiden käytölle asetetut rajoitukset on esitetty taulukossa 6. Näiden rajoitusten soveltaminen hygieeniseltä tasoltaan hyvälaatuisiin metsäteollisuuslietteisiin ei liene aivan perusteltua, mutta toisaalta ei mitakaan ohjeita ole.

Taulukko 6. Lietteiden käyttömahdollisuudet hygieenisten ominaisuuksien perusteella (Lääkintöhallituksen yleiskirje 1977)

LIETELAJI ¹⁾	KÄYTTÖKOHDTE			
	PUISTOT		MAANVILJELY	
	Nurmet ²⁾		Viljat ja sie- men viljely	Öljykasvit ja sokeri- juurikas Peruna sekä raakana syö- tävät vihan- nekset 6)
Mekaaninen, biolo- ginen ja kemialli- nen liete (stabi- loimaton)	-	(+) ^{3), 4)}	-	-
Lahotettu	+	+	+ ⁵⁾	+ ⁵⁾
Mädätetty	+	+	+ ⁵⁾	+ ⁵⁾
Kalkkistabiloitu pH > 11	+	+	+	+
Lietekomposti	+	+	+	+
Lieteseokset	Käyttökelpoisuus riippuu seokseen käytetys- tä lietteestä			

1) Katso tarkennusta tekstiosasta

2) Tarkoittaa lietteen käyttöä nurmen perustamisvaiheessa;
kasvavalle nurmelle ei lietettä saa käyttää

3) Nurmen suojaviljalle edellisenä syksynä

4) Stabiloimaton liete on muokattava välittömästi levittämisen jälkeen

5) Suositellaan muokattavaksi pian levittämisen jälkeen

6) Vihanneksia voidaan viljellä kahden vuoden, perunaa viiden vuoden kuluttua lietteen levittämisestä (peruna-
ankeroisvaara)

+ sopii käytettäväksi

- ei sovi käytettäväksi

() sopii käytettäväksi varauksin

Samojen lääkintöhallituksen ohjeiden mukaan lietettä suositellaan käytettäväksi samalla alueella korkeintaan viiden vuoden välein, jolloin levitettävä määrä on enintään 20 tonnia kuiva- aineeksi laskettuna hehtaaria kohden. Kadmiumia ei kuitenkaan saa tulla lietteen mukana maahan viiden vuoden aikana yli 100 g/ha. Taulukossa 3 on esitetty maanviljelyskäyttöön kelpaavan lietteen raskasmetallipitoisuuksien enimmäismäärät.

Thielin (1984) mukaan paperiteollisuuslietteitä voitaisiin alhaisten raskasmetallipitoisuuksiensa vuoksi levittää samaan paikkaan useina peräkkäisinä vuosina.

Metsäteollisuuslietteiden käytöstä maanparannukseen/ lannoitukseen on raportoitu mm. seuraavissa lähteissä: (Sullivan 1970 ; Malot and Richardson 1983 ; Einspahr et al. 1984 ; Aspitarte et al. 1973 ; Simpson et al. 1983 ; Smith 1980) ja (Pepin and Coleman 1984).

3. KOMPOSTOINNIN PERUSTEET

3.1 Yleistä

Kompostoitumisella tarkoitetaan biologista prosessia, jossa monilajinen mikrobien muodostama eliöyhteisö hajottaa orgaanista materiaalia kosteissa, aerobeissa ja riittävästi lämpöeristetyissä olosuhteissa siten, että lopputuotteena syntyy hiilidioksidia, vettä, stabiilia humusaineita sisältävää materiaalia ja lämpöenergiaa siinä määrin, että prosessiin liittyy lämpötilan oleellinen nousu (Lehtokari 1984).

Kompostoituminen on biologinen tapahtumasarja joka käynnistyy, kun ympäristötekijät täyttävät tietyt edellytykset. Näistä tärkeimmät ovat C/N- suhde, oikea kosteuspitoisuus ja riittävä hapensaanti. Kompostin on lisäksi oltava riittävän suuri, jotta se lämpenee tarpeeksi. Kompostointiprosessi perustuu kompostoitavan materiaalin sisältämiin ja ympäristöstä siihen siirtyneisiin mikrobikantoihin, jotka nopeasti sopeutuvat syöttömateriaaleille ja kompostointiolosuhteisiin parhaiten soveltuvaksi eliöyhteisöksi (Lehtokari 1984).

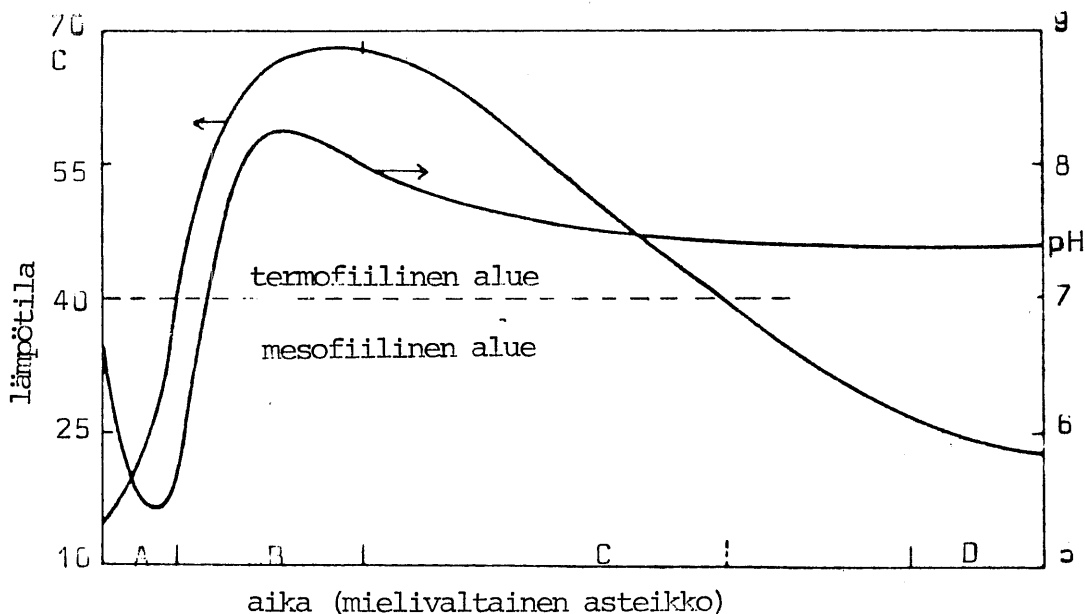
Kompostoitaessa hajoava orgaaninen jäte muuttuu humuspi-toiseksi materiaaliksi, jota sen kypsyysasteesta riippuen voidaan käyttää eri kohteisiin, ja jolla maaperässä on positiivinen vaikutus. Kompostointiprosessiin vaadittava aika riippuu kompostointimenetelmästä, olosuhteista ja tuotteelta vaaditusta kypsyysasteesta.

3.2 Lämpötila

Kompostointiprosessin edistyessä lämpötila nousee varsin nopeasti. Lämpötilan suhteen prosessi voidaan jakaa kryo-fiiliseen (5-10 °C), mesofiiliseen (10-40 °C) ja termofiiliseen vaiheeseen (Paatero ja Lehtokari 1980)(kuva 2). Kullekin vaiheelle on ominainen mikrobipopulaatio.

Vaikka mikrobitoiminta voi nostaa lämpötilan jopa yli 80 °C:n, on reaktionopeus suurimmillaan lämpötilan ollessa n. 55 °C (Finsten et al. 1980 ; Haug 1979).

Reaktionopeuden pieneneminen korkeammissa lämpötiloissa johtuu mikro- organismien tuhoutumisesta lämpötilan noustessa. Asiantilaan ei vaikuta se, että lämpö on niiden itse tuottamaa. Esimerkiksi eräässä tutkimuksessa CO₂ tuotto 72 °C:ssa oli vain 5 % siitä, mitä se oli 56 °C:ssa (Finsten et al. 1980).



Kuva 2. Lämpötilan ja pH:n riippuvuus prosessin kulusta ajan funktiona (Paatero ja Lehtokari 1980)
 A. mesofiilinen vaihe
 B. termofiilinen vaihe
 C. jäähtymisvaihe (sisältää sekä termofiilisen että mesofiilisen vaiheen)
 D. jälkikypsytysvaihe

Yleisesti on pidetty korkeaa lämpötilaa hyvin toimivan kompostointiprosessin merkinä, vaikka siis stabiloitumisen kannalta optimaalinen lämpötila on n. 55 °C. Kunnallisia jätevesilietteitä kompostoitaessa ovat korkeat lämpötilat olleet suotavia tehokkaan hygienisoivan vaikutuksen vuoksi. Puunjalostusteollisuuden lietteitä kompostoitaessa voitaisiin keskittyä mahdollisimman tehokkaaseen stabiloitumiseen pitämällä lämpötila optimaalisena, koska patogeenit eivät niissä aiheuta vastaavia ongelmia kuin kunnallisilla lietteillä. Lisäksi on todettava, että hygienisoitumista tapahtuu myös ilman korkeita lämpötiloja. 55–60 °C:ssa hygienisoituminen tapahtuu 1–5 päivässä (Golueke 1984).

3.3 pH

Kuvasta 2 ilmenee prosessin aikainen pH vaihtelu. Kompostoitumisprosessille on ominaista pH:n muuttuminen prosessin edetessä. Ensin tapahtuu lievä lasku, jonka jälkeen pH melko jyrkästi nousee yli 8:n (ammonifikaatiovaihe). Tämän jälkeen pH laskee enemmän tai vähemmän tasaisesti lähelle neutraalia tai jonkin verran sen alle seosaineiden koostumuksesta riippuen (Lehtokari ja Paatero 1981). Optimi pH bakteerien kasvulle on 6.0–7.5 ja sienille 5.5–8.0 (EPA 1979).

pH- väliä 6-8 voidaan siis pitää toivottavana, mutta pH:n vaihtelu aiheuttaa harvoin estettä lietteiden kompostoitumille, sillä kompostoitumisen on havaittu onnistuvan hyvin vaikka seoksen alku- pH on vaihdellut välillä 3-11 (DeBertoldi et al. 1984).

3.4 Kosteus

Orgaanisen aineen hajoaminen riippuu kosteudesta. Alin kosteuspitoisuus, jossa biologinen hajoaminen on vielä mahdollista on 12-15 % , kuitenkin jo alle 40 % :n kosteuspitoisuus rajoittaa hajoamistoimintaa. Optimi kosteuspitoisuus vaihtelee yleensä välillä 50-60 % ja riippuu partikkelikoosta ja käytetystä kompostointisysteemistä.

Yli 60-65 %:n kosteudessa komposti joutuu helposti anaerobiin tilaan, jolloin prosessi vaikeutuu (EPA 1979). Jätevesilietteen ja puunkuoren kompostoinnissa on tosin todettu hajoitustoiminnan jatkuvan vielä 70 %:n kosteudessaakin (Lehtokari 1980).

3.5 Ravinnepitoisuus

Mikro- organismit vaativat sekä hiiltä että typpeä kasvaakseen. Ne kuluttavat näitä suhteessa 30:1. Parhaat olosuhteet kompostoitumiselle vallitsevat siis kun C/N suhde on välillä 25-35. Pelkkä hiilen ja typen suhde ei kuitenkaan kerro kaikkea, vaan huomioon on otettava myös hiilen biohajoavuus. Joissakin materiaaleissa hiili voi olla niin vaikeasti hajoavaa, ettei mikrobitoiminta voi käyttää sitä hyödykseen. Alhainen C/N suhde lisää typen katoa ammoniakkihaihtumisen muodossa ja korkea C/N suhde pidentää kompostoitumisaikaa typen muodostuessa kasvua rajoittavaksi tekijäksi.

Kompostoitavissa materiaaleissa on yleensä riittävästi fosforia, eikä sen optimointiin tarvitse kiinnittää huomiota kuten typen määrän optimointiin. Suositeltavaksi C/P suhteeksi on esitetty 75-150 (Paatero ym. 1984).

3.6 Happipitoisuus

Optimi happipitoisuus kompostimassan huokosilmassa biologisen hajoamisen kannalta on 5-15 % (EPA 1980). Finstein ja Miller (1984) ovat suositaneet vieläkin korkeampia happipitoisuuksia, mutta syynä tähän on lämmönsiirto kompostimassasta, ei mikrobitoiminnan hapentarve.

Erilaisia tapoja järjestää ilmastus kompostissa on kasan kääntö tietyin väliajoin tai erilaiset koneelliset ilmastustavat.

4. KOMPOSTOINNIN TEKNIikka

4.1 Sekoitus

Lietettä homogeenisten tukiaineiden kanssa kompostoitaessa ei tarvita varsinaisia esikäsitteilyprosesseja (murskaus, seulonta, tuuliseulonta, magneettisten metallien erotus ym.) kuten yhdyskuntajätettä kompostoitaessa. Haluttaessa voidaan esikäsitteilyksi laskea lietteen ja tukiaineen sekoitus. Tähän voidaan käyttää erillisiä sekoituslaitteita ennen kompostoinnin aloittamista, mutta niiden tarvetta voidaan vähentää tai kokonaan poistaa kääntämällä ja sekoittamalla materiaalia runsaasti varsinaisen kompostoinnin aikana.

Sekoituksessa voidaan käyttää seuraavia laitteita (Lilja ja Tahvanainen 1985):

Hyvin vesipitoisen lietteen sekoitukseen on mahdollista käyttää akselitonta sekoitusruuvia, joka samalla toimii kuljettimena.

Edellistä parempi sekoitustulos saadaan kaksoisruuvilla, jossa ruuvit pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Näitä voi olla myös useita pareja. Suomessa kehitettiin 1970-luvun lopussa omalla moottorilla kulkeva aumaa muodostava laite, jossa sekoitus tapahtui kaksoisruuvilla (Paatero 1979).

Lapasekoittimessa kahteen (tai muu parillinen lukumäärä) akseliin kiinnitettyt lavat tai potkurit sekoittavat materiaalin ja hienontavat paakut. Laitetta on sekä eräkäyttöisenä että jatkuvatoimisena.

Lähinnä lapasekoittimia ovat useat markkinoilla olevat liikkuvat kompostointilaitteet, jotka myös kääntävät kompostin. Nämä laitteet ovat yleisiä USA:ssa lietteen kompostoinnissa. Kääntölaitteiden kapasiteetti on 100...1800 m³/h.

Lapasekoittimen sovellutus on myös lannanlevitin, joka on monipuolisuutensa vuoksi saavuttanut suosiota suurimittaisessakin kompostoinnissa.

Sekoitusrumpu on usein läpimitaltaan 3...3.5 m ja se pyörii 3...5 asteen kallistuskulmassa kehänopeudella 1...1.5 m/s. Rumpusekoituksessa on ongelmana lietepallojen muodostuminen hitailla kierroksilla ja toisaalta lietteen iskostuminen seinämiin nopeilla kierroksilla. Sekoitusrummun investointikustannus on moninkertainen verrattuna edellä mainittuihin laitteisiin.

Yksinkertaisin tapa toteuttaa sekoitus on ajaa tukiaineet kerroksittain lietteen kanssa kompostointikentälle ja sekoittaa ne traktorin etukuormaajalla tai pyöräkuormaajan kauhalla. Kauhamenetelmiä käytettäessä on tosin vaikeaa saavuttaa tyydyttävä sekoitustulos. Seurauksena on lietepaakkujen muodostuminen, paikallisia anaerobisia taskuja kompostiaumassa, kompostituotteen epähomogeenisuus yms. Näitä haittapuolia

voidaan kuitenkin kompensoida jatkamalla seoksen sekoitusta kompostointiprosessin aikana ja pidentämällä viipymää.

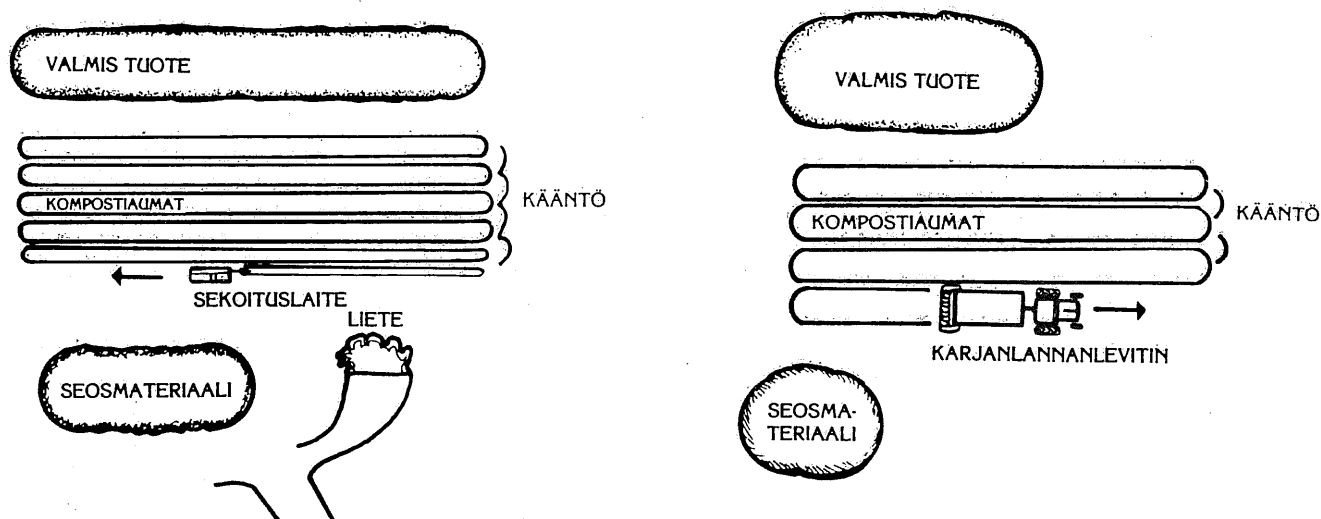
Kauhamenetelmän käyttö sekoituksessa on houkuttelevaa, koska samalla työkoneella voidaan suorittaa kaikki materiaalien siirrot ja lastaukset kompostointilaitoksella, ja mahdollinen ylimääräinen kapasiteetti voidaan jopa hyödyntää muissa maanrakennustoissa. Käytettäessä erityislaitteita sekoittamiseen tarvitaan joka tapauksessa traktori tai pyöräkuormaaja muuhun materiaalin käsittelyyn.

4.2 Aumakompostointi

Edullisin tapa suurien jätemäärien kompostoinnissa on ulkoilmassa suoritettu kasa- tai aumakompostointi. Kasat ovat muodoltaan pyöristettyjä kartioita ja aumat näiden pidennetyjä muunnoksia. Aumojen korkeus on tavallisesti 1.5-2.5 m, leveys 3-7 m ja pituus olosuhteista riippuen jopa useita satoja metrejä. Auman korkeutta rajoittavat aerobisten olosuhteiden säilyminen ja mahdollisesti työskentelyssä käytetyt koneet.

Aumojen ilmastus tapahtuu joko luonnollisen ilmanvirtauksen avulla tehostettuna kompostin ajoittaisella käännöllä tai erilaisten koneellisten ilmastusjärjestelmien kautta.

Aumaa muodostettaessa on ainekset saatava sekoitettua riittävän hyvin, jotta lopputuloksena on homogeeninen tuote ja nopea kompostoitumisprosessi. Tässä voidaan käyttää tavallista pyöräkuormaajaa, tai tarkoitukseen suunniteltuja sekoituskoneita, jotka kulkiessaan muodostavat kompostiaumaa. Tarkoitukseen voidaan käyttää myös tavallista karjanlannanlevitintä. Sillä saadaan laitteesta riippuen 3-4 m leveä ja 1-1.5 m korkea kompostiauma (Mäkelä ym. 1981).



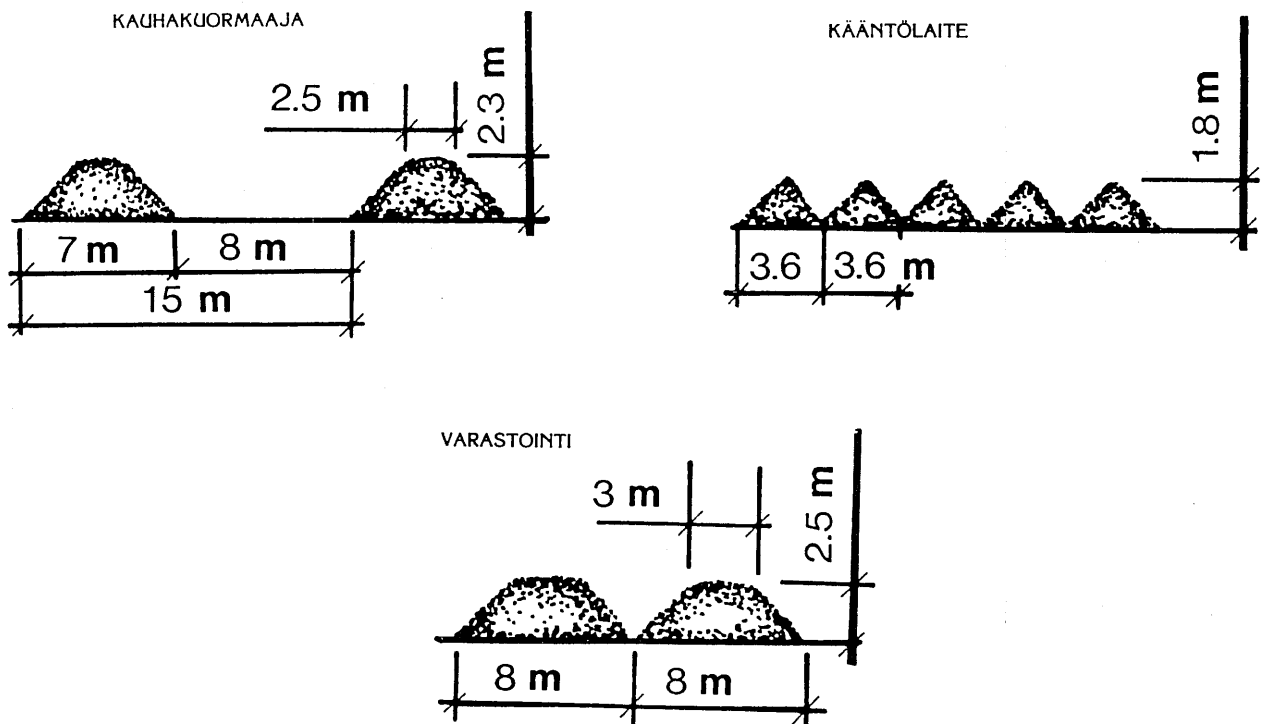
Kuva 3. Karjanlannanlevittimen ja erityisen sekoitus-koneen toimintaperiaate kompostoitaessa eri materiaaleja (Paatero ym. 1984)

4.21 Ilmastus kääntämällä

Kompostin ilmastus tapahtuu luonnollisella virtauksella auman sivuilta lämpimän ilman noustessa auman keskeltä. Tällainen ilmastus on riittämätön etenkin kompostoinnin alussa, ja auma muuttuu osittain anaerobiseksi, josta aiheutuu prosessin hidastumista ja mahdollisesti hajuja. Tämän vuoksi on ilmastusta tehostettava kääntämällä aumaa sopivin väliajoin. Kompostin kääntäminen edesauttaa myös aineiden sekoittumista ja tasalaatuisen tuotteen syntymistä sekä massan hygienisoitumista, koska auman päällimmäinen kerros joutuu kompostin kuumaan sisäosaan, jossa patogeenit nopeasti tuhoutuvat.

Komposti voidaan kääntää tavallisella kauhakuormajalla tai vartavasten tähän tarkoitukseen suunnitelluilla laitteilla. Näitä laitteita on useita erilaisia, tosin Suomeen näitä ei ole tuotu. Korkean hintansa vuoksi ne soveltuvat parhaiten suurille laitoksille. Kauhakuormajan huonona puolena on sen suuri tilantarve käännettävien aumojen välillä, sen kapasiteetti kompostin käännessä on n. 500 m³/h, 10-11 t:n kuormajalla (Lilja 1982).

Kuvassa 4 on esitetty erilaisten työkoneiden ja kompostointijärjestelyjen vaatima tilantarve.



Kuva 4. Kompostiauman koon riippuvuus käytettävästä työkoneesta. Käytettäessä kauhakuormajaa voidaan kompostointikentällä käsitellä neliömetriä kohti 0.75 m³ kompostia. Kääntölaitetta käytettäessä vastaava luku on 0.90 m³ ja varastoinnissa 1.72 m³ (Paatero ym. 1984)

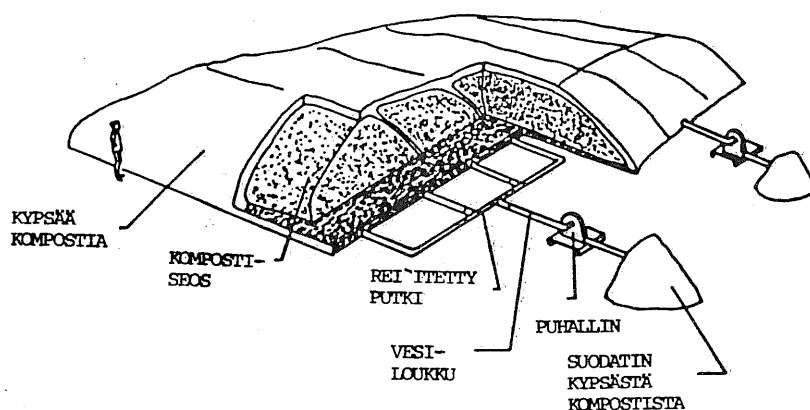
1...3 käännön on osoitettu riittävän materiaalin stabi-
loitumisen kannalta viipymän ollessa 8...14 kuukautta
(Lehtokari 1980 ; Viitasalo 1976). Hygieenisistä syistä saa-
tetaan joutua turvautumaan useampaankin kääntöön. On arvioi-
tu, että 3...5 kääntöä takaavat sen, että materiaalin kaikki
osat joutuvat termofiilin kompostoinnin vyöhykkeeseen ja koko
massa hygienisoituu (Lilja 1982). Tätä useampi kääntö voi
olla välttämätön kompostin liiallisen kosteuden vuoksi,
toisin sanoen jos komposti on ollut runsaille sateille alt-
tiina tai lähtöaineet ovat olleet liian märkiä (Lilja 1982).

Yli 10 kääntöä on perusteltua suorittaa, jos prosessia
halutaan edelleen nopeuttaa ja parantaa prosessin aerobisuut-
ta. Norjalaisen suosituksen mukaan tyydyttävä tulos saavute-
taan 20 käännön ohjelmalla 3.5...7 kuukauden aikana (Lilja
1982).

Koneellisesti aumojä käänneltäessä on suositeltavaa, että
kenttä on asfaltoitu tai betonoitu. Runsassateisena aikana
ulkokentällä kompostoitavasta materiaalista valuvien vesien
ympäristöhaittojen eliminoinniseksi kompostointialue on varus-
tettava kokoojaojilla tai -viemäreillä, joista valumavesi
ohjataan keräilyaltaaseen (Paatero ym. 1984).

4.22 Koneellinen ilmastus

Ulkona tapahtuvaa kompostointia on pyritty tehostamaan jär-
jestämällä aumaan tai kasaan koneellinen ilmastus. Tämä on
tapahtunut joko imemällä tai puhaltamalla ilmaa komposti-
seoksen läpi. Ilmastuskanavisto on rakennettu joko kiinteäs-
ti asfaltti- tai betonilaattaan, tai se on muodostettu irrall-
lisesta rei'itetystä putkistosta. Koneellisella ilmastuk-
sella on mahdollista kompostoida yksittäisiä kasoja tai
laajoja yhtenäisiä kompostikerroksia (kuva 5).



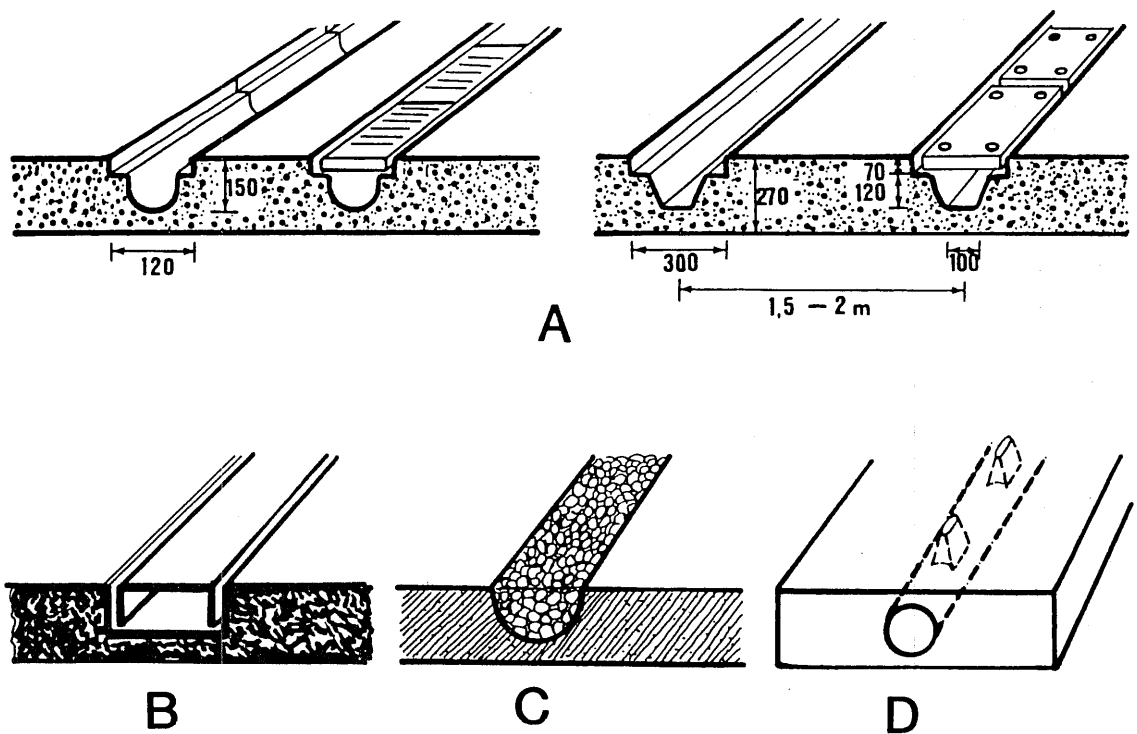
Kuva 5. Kaaviokuva lietteen koneellisesti ilmastetusta kompostoinnista. Kompostiseos on laajana yhtenäisenä kerroksena (EPA 1980)

Koneellisella ilmastuksella voidaan avomaallakin säätää lämpötila ja massan happipitoisuus optimaaliseksi ja näin turvata nopea kompostoituminen huonoissakin ilmasto- olo- suhteissa (Hovsenius et al.1978 ; Olver 1980 ; Smith 1984).

Koneellisen ilmastuksen lisäksi saatetaan kompostimassaa kääntää joitakin kertoja prosessin aikana. Ruotsissa on kiinteän yhdyskuntajätteen kompostoinnissa havaittu koneellisen ilmastuksen aiheuttavan ilmastuskanavien syntymistä kompostiseokseen. Tästä on aiheutunut massassa osittain liiallista kuivumista ja osittain liian alhaisia happipitoisuuksia, jotka ovat johtaneet prosessin hidastumiseen. Näitä haittoja on eliminoitu yhdistämällä koneelliseen ilmastukseen kompostin ajoittainen kääntö (Lilja 1981).

4.221 Ilmastuksen järjestäminen

Kompostikasan ilmastus joko imemällä tai puhaltamalla voidaan toteuttaa eri tavoin. Kuvassa 6 on esitetty asfaltti- tai betonilaattaan sijoitettujen ilmastuskanavien teknisiä vaihtoehtoja.

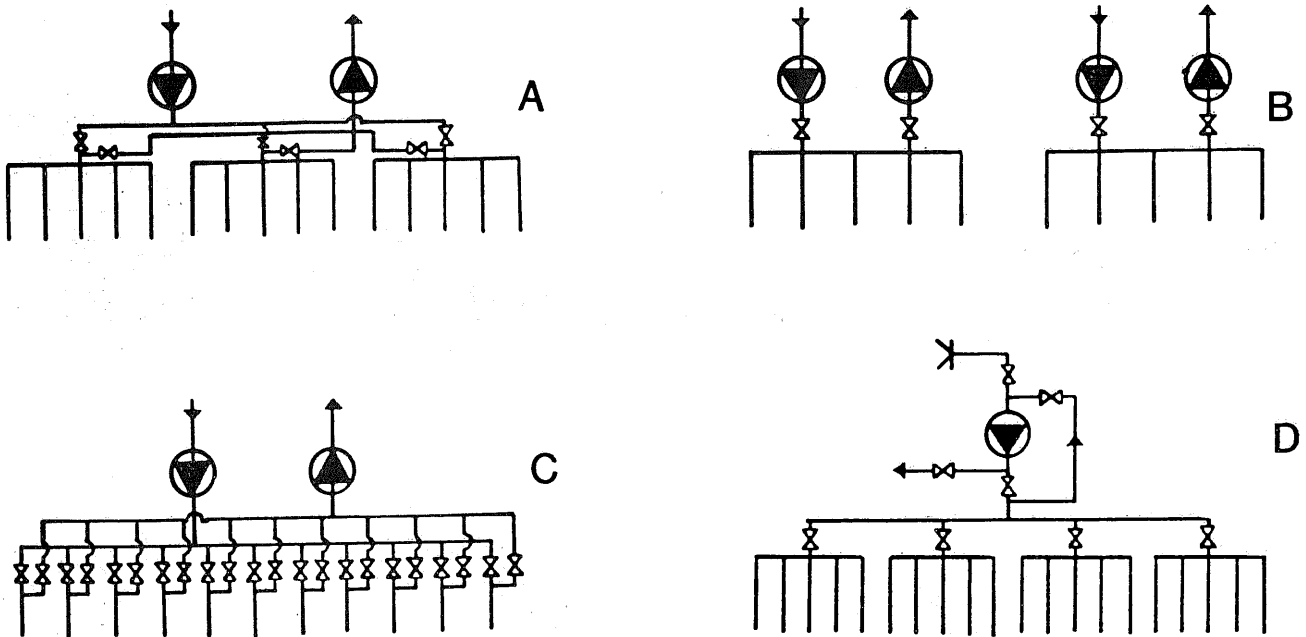


Kuva 6. Koneellisen aumakompostoinnin ilmastuskanavien teknisiä vaihtoehtoja. A.betonielementeistä valmistettu ilmastusalusta. B.asfaltista ja kahdesta vastakkain pannusta teräksisestä U-palkista valmistettu ilmastusalusta. C.hiekkaa tai sepeliä sisältävä betonikouru. D.PVC-muovista valmistettu ilmastuselementti (Paatero ym. 1984)

Ilmastettuja betonilaattoja on käytetty kiinteän yhdyskuntajätteen kompostoinnissa Norjassa ja Ruotsissa. Norjassa tosin on ollut keskustelua ko. järjestelmän epätaloudellisuudesta verrattuna tavalliseen kauhakuormaajalla käännettävään aumakompostiin (Lilja 1981).

USA:ssa ilmastukseen on käytetty yleisesti rei'itettyä, poimuista ja taipuisaa salaojaputkea. Putkea voi käyttää myös uudelleen, mutta edullisuutensa vuoksi se on usein katsottu kertakäyttötavaraksi, joka aumaa purettaessa on saanut hajota (Anon. 1981).

Kuvassa 7 on esitettyinä koneellisesti ilmastetun kompostiauman puhallus- ja imujärjestelmiä. Ilmastukseen soveltuvat parhaiten keskipakopuhaltimet (EPA 1980).

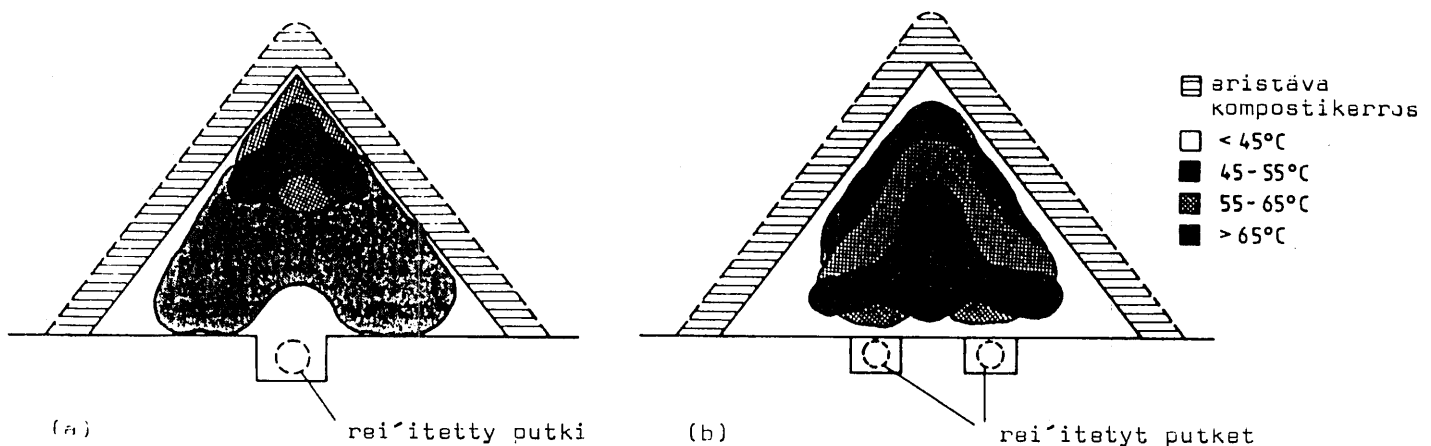


Kuva 7. Koneellisesti ilmastetun kompostiauman puhallus- ja imujärjestelmiä. A.putkituksen jakeistaminen käytettäessä suuria puhaltimia. B.putkituksen jakeistaminen käytettäessä pieniä puhaltimia. C.suurten puhaltimien käyttö ilman jakeistusta. D.samojen puhaltimien käyttö imemiseen ja puhaltamiseen (Paatero ym. 1984)

4.222 Eri menetelmistä

Koneellisesti ilmastetun aumakompostoinnin leviäminen sai alkunsa USA:sta Beltvillestä 1973. Kompostointijärjestelmää, jossa ilmaa imetään auman läpi (kuva 5) nimitetään tämän paikan mukaan. USA:ssa tämän menetelmän käyttö jätevesilietteiden kompostoinnissa on yleistä. Siinä kasasta imetään ilmaa puhaltimella ja johdetaan se kypsästä kompostista tehtyyn suotimeen, jonka tarkoituksena on poistaa hajut. Imetty ilmamäärä on 14 m³/h/lietekuiva-ainetonnin. Puhallin toimii ajastimen ohjaamana 20-30 minuutin jaksoissa siten, että puhallus on päällä 1/10 - 1/2 jaksosta. Varsinainen kompostoituminen kestää 21 vuorokautta, jonka jälkeen seuraa noin kuukauden kypsytyks isommassa kasassa. Tämän jälkeen tuote on valmista käyttöön tai varastoitavaksi. Seulontavaihe on joko ennen tai jälkeen kypsytyksen (EPA 1980).

USA:ssa on kehitetty myös ns. Rutgers- menetelmä, jossa puhalletaan ilmaa kompostikasaan termostaatin ohjaamana. Systeemissä pyritään kompostin lämpötila pitämään optimaalisena mikro-organismien toiminnalle eli n. 55 °C. Lämpötilan kohotessa kasassa tämän yli, kytkeytyy puhallin päälle estäen lämpötilaa nousemasta niin korkealle, että mikrobiologinen toiminta hidastuu. Kasaan puhallettava ilma siirtää lämpöä kuumasta keskustasta ulompiin osiin, jolloin lämpötila tasaantuu (kuva 8). Lämpimän ilman mukana siirtyy myös runsaasti kosteutta ja kompostoitava aines kuivuu. Jätevesilietettä kompostoitaessa kuivuminen on prosessin yksi tarkoitus (Finstein 1980 ; Miller and Finstein 1985 ; Finstein et al. 1980).



Kuva 8. Aumojen poikkileikkauksien lämpötilojen jakautuminen (Stentiford et al. 1984)
 (a) ilmastus puhaltamalla
 (b) ilmastus imemällä

Puhalluksella toimivissa ilmastimissa on todettu ilman virtausvastuksen oleva pienempi ja happipitoisuuden kasassa tasaisempi (Higgins 1982).

Rutgers- menetelmässä tarvittu kokonaisilmamäärä on noin nelinkertainen Beltsville- menetelmään verrattuna, mutta hetkellisesti ilmavirtaus voi olla jopa kaksikymmenkertainen (Miller and Finstein 1985).

Monissa koneellisesti ilmastettua kasakompostointia harjoittavissa laitoksissa on päädytty puhaltamaan ja imemään ilmaa kompostin läpi tietyn ohjelman mukaisesti (Lilja 1981 ; Hovsenius et al. 1978 ; Kuchenrither et al. 1985). Näin kompostoitavassa olisi suotavaa suorittaa ainakin yksi kääntö.

4.23 Menetelmien vertailua

Erilaisia aumakompostointimenetelmiä prosessin nopeuden ja tuotteen laadun perusteella vertaillaessa on havaittu puhallusilmastus parhaaksi (Finstein 1980 ; Miller and Finstein 1985 ; Finstein and Miller 1984 ; Kuter et al. 1985 ; Miller et al. 1982 ; DeBertoldi et al. 1982).

DeBertoldi et al.(1982) ovat verranneet keskenään kompostointia kääntämällä sekä ilmastamalla imulla ja puhalluksella. Kompostoitavana materiaalina oli kiinteä yhdyskuntajäte. Taulukossa 7 on esitetty kokeen tuloksia.

Taulukko 7. Tietoja yhdyskuntajätteen kompostointikokeilusta, kun aumoa on ilmastettu kääntämällä, puhaltamalla ja imemällä (DeBertoldi et al. 1982)

		kosteus %	lämpöt. °C	pH	typpi % TS		
					kokonais.ammonium.	nitraatti	C/N
		67	12	6.1	1.79	0.16	22.30
KÄÄNTÖ							
15 pv:n jälk.	55		65	8.5	1.59	0.33	22.25
30 pv:n jälk.	43		58	8.15	1.46	0.14	19.00
IMU							
15 pv:n jälk.	57		58	8.2	1.68	0.25	20.03
30 pv:n jälk.	45		35	8.0	1.60	0.13	18.00
PUHALLUS							
15 pv:n jälk.	48		40	8.0	1.71	0.19	19.47
30 pv:n jälk.	29		12	7.9	1.70	0.10	16.00

Vertailu osoittaa, että puhaltamalla ilmastetussa kasassa on kuivuminen ollut suurinta. Hiili-typpisuhteen kehityksestä voidaan todeta myös hajoamistoiminnan olleen suurinta. Kompostoinnin aikana typpeä yleensä menetetään ammoniakin haihtuessa. Taulukon 7 mukaan typpihäviö oli suurin kääntämällä ja imulla ilmastetuissa kasoissa. Tämä johtuu puhaltamalla ilmastetun kasan alhaisemmista pH- ja lämpötilalukemista. Nämä tekijät vaikuttavat suuresti ammoniakin haihtumiseen. Koneellisesti ilmastetuissa kasoissa oli lopputuotteen hygieeninen laatu paras.

Vertailtaessa eri aumakompostointimenetelmien vaikutusta kasvituksisiin ilmiöihin, on todettu fytotoksisuuden häviävän koneellisesti ilmastetuissa aumoissa kahdessa viikossa ja kääntämällä ilmastetuissa aumoissa kuudessa viikossa (DeBertoldi 1982).

Jätevesilietettä ja puuhaketta koneellisesti ilmastetuissa aumoissa kompostoitaessa on eri ilmastustavoilla saavutettu taulukossa 8 esitetyjä tuloksia.

Taulukko 8. (Miller and Finstein 1985)

	ilmastustapa puhallus	imu
kompostoitumis- aika	12.4 d	20.8 d
lietekuiva-ai- neesta hajonnut	41.8 %	11.3 %
lietteen orgaanisesta ainesta hajonnut	56.9 %	15.4 %
vedestä poistunut	78.2 %	19.4 %
ilmamäärä	8194 m ³ /t	1914 m ³ /t

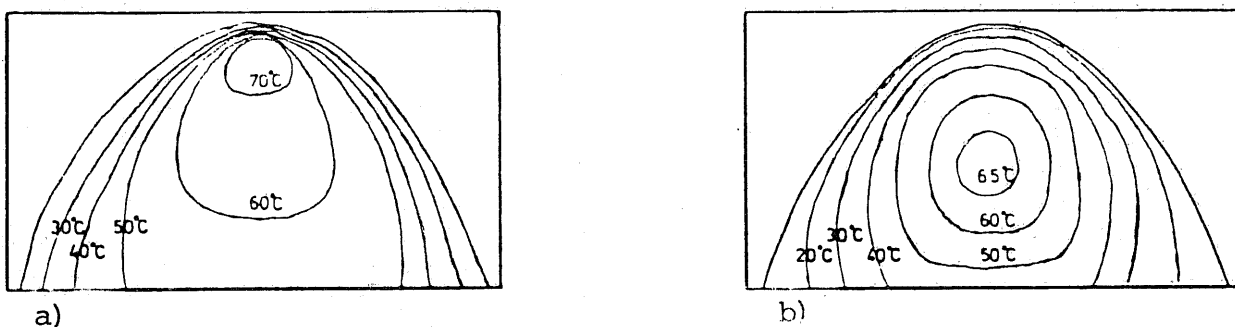
Koneellisesti ilmastetuissa aumoissa on ilman imua auman läpi perusteltu mahdollisuudella johtaa ilma suodatinkasaan, jolloin hajuhaittojen mahdollisuus vähenee. Käytössä on havaittu imulla ja puhalluksella olevan molemmilla omat hyvät puolensa. Parhaimmaksi koneellisen ilmastuksen tavaksi on ilmennyt menetelmä, jossa aluksi hajujen eliminoimiseksi imetään ilmaa kasasta. Jonkin ajan kuluttua siirrytään puhallukseen, mikä takaa mahdollisimman nopean kompostoitumisen ja seoksen kuivumisen (EPA 1985).

Kiinteän yhdyskuntajätteen kompostoinnissa Ruotsissa on ilmastetulla betonilaatalla voitu kompostoitumisaika lyhentää aumakompostoinnin vaatimasta 10-12 kuukaudesta n. 4-6 kuukauteen. Aumakompostointiin verrattuna on tilantarve ollut noin neljäsosa ja työvaltaisten kääntämisoperaatioiden määrä on vähentynyt yhteen tai kahteen (Hovsenius et al. 1978).

4.24 Aumakompostointi kylmissä oloissa

Pääosa kansainvälisestä kompostointitutkimuksesta on tehty huomattavasti suotuisammissa ilmasto-olosuhteissa kuin Suomessa vallitsee. Runsaista päivävastaisista luuloista huolimatta kompostointi onnistuu hyvinkin kylmissä olosuhteissa, vaikkakin prosessin käyntiinlähtö on hitaampaa.

Kovat pakkaset vaikeuttavat kompostoitumista aumojen pintakerroksissa, mutta aumojen keskustoissa on kuitenkin riittävän korkea lämpötila tappamaan esim. patogeenit (Paatero 1978).



Kuva 9. Lämpötilan jakaantuminen ilmastamattomien aumojen poikkileikkauksissa talviolosuhteissa (Paatero 1978)
 a) kompostoinnin alkuvaihe, ulkoilman lämpötila vähän alle 0 °C.
 b) pitkäaikaisten, kovien pakkasten jälkeen

On mielenkiintoista todeta, että puunkuorta ja jätevesilietettä kompostoitaessa jopa alle 0 °C seokset lähtevät varsin nopeasti kompostoitumaan, mikäli prosessiolosuhteet ovat muuten suotuisat (Paatero 1978).

Talviolosuhteissa on auman kääntämisessä noudatettava varovaisuutta, koska lämpötila laskee huomattavasti aumoa käännettäessä johtuen siitä, että aumojen ulkopinta on kylmä varsinkin aumojen sivuilla. Samoin on vältettävä runsasta lumen joutumista aumojen sisään niitä käännettäessä, koska seurauksena voi olla aumojen liiallinen kostuminen ja joutuminen anaerobiin tilaan (Paatero 1979 ; Lindfors et al. 1979). Aumojen kääntöä kaikkein kovimmilla pakkasilla ei suositella.

Suomessa on toteutettu teollisessa mittakaavassa elintarviketeollisuuslaitoksen jätevesilietteen ja muiden jätteiden kompostointisysteemi (Kallio ja Tikanmäki 1982). Kokemusten mukaan ulkoilmakompostoinnissa on vaikeimmin hallittava muutuja lopputuotteen kosteus. Talvella auman kylmä pinta on toiminut haihtuvan vesihöyryn palautuslauhduttimena, eikä

talven aikana ole tapahtunut mainittavaa kuivumista. Tämä ei suinkaan ole estänyt tehokasta kompostoitumista.

USA:ssa on jätevesilietettä kompostoitu koneellisesti ilmastetuissa aumoissa kylmissä oloissa (Smith 1984 ; Olver 1980). Kompostoitumista on tehostettu varastoimalla tukiaineena toimiva kuori kesällä isoiksi kasoiksi, jotka pysyvät lämpiminä bakteeritoiminnan ansiosta. Lämmin kuori on taannut prosessille nopean käyntiinlähdön. Toimivan kuuman kompostin sekoittaminen uuteen aumaan ajaa saman asian. Vastamuodostettujen aumojen käyntiinlähtöä on nopeutettu myös siten, että toimivasta aumasta on imetty lämmintä ilmaa ja puhallettu sitä tuoreeseen aumaan.

Aumat voidaan myös peittää kauttaaltaan kypsällä kompostilla. Tämä kerros toimii samalla eristeenä kylmää vastaan ja suodattaa hajuja.

4.3 Reaktorikompostointi

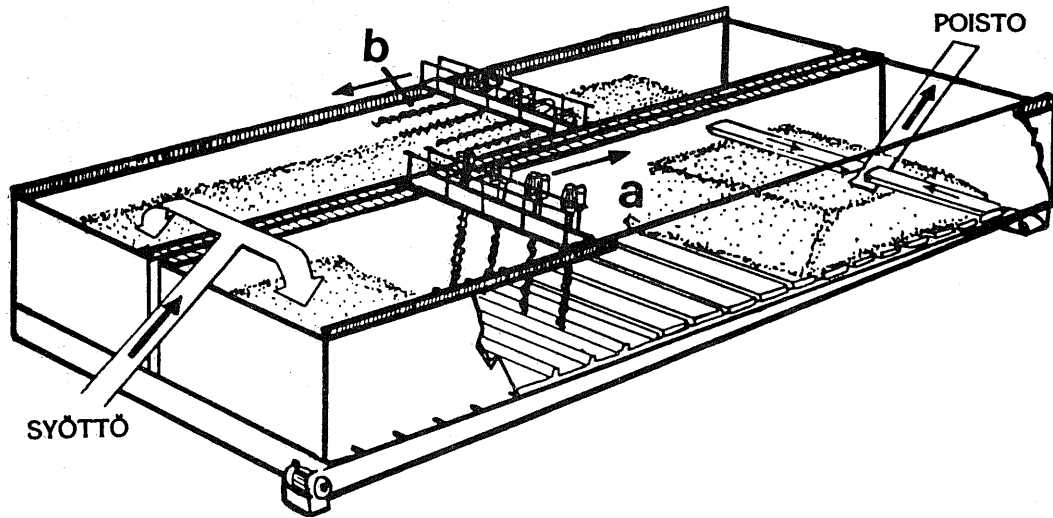
Ulkomailla on kiinteän yhdyskuntajätteen ja jätevesilietteen kompostointiin kehitetty ja rakennettu useita erilaisia reaktorikompostoreja. Suomessa kokemukset täyden mittakaavan laitoksista rajoittuvat Helsingissä ja Turussa aikoinaan käytössä olleisiin DANO- laitteistoihin. Laitteistot purettiin epäonnistuneina, vaikkakin vikaa arvellaan olleen myös käyttöhenkilökunnan koulutuksessa (Hanioja ym. 1974).

Reaktorikompostoinnin haittapuolena ovat korkeat investointikustannukset (ks. luku 9.1). Keski-Euroopassa toimii kuitenkin noin sata kompostireaktoria. Laajassa ruotsalaisessa kompostointitutkimuksessa (Laxå- projekti) päädyttiin siihen, että Pohjoismaiden ilmasto- ja kuljetusolosuhteissa ovat ainoastaan kasamenetelmät taloudellisesti kannattavia (Viita-salo 1983). Tästä syystä reaktorikompostointia käsitellään seuraavassa varsin suppeasti.

Reaktori- ja aumakompostoinnin välimuodoksi voidaan laskea mekanisoidut aumat (Paatero ym. 1984). Näistä esimerkkinä on INKA- menetelmä (kuva 10).

INKA- menetelmässä käytetään mekaanista ruuvisekoitusta sekä mekaanista ilmastusta joko ruuvien tai pohjan kautta. Jälkikompostointi suoritetaan erikseen joko lievästi ilmastaen tai aumassa kypsyttäen ilman ilmastusta (Paatero ym. 1984).

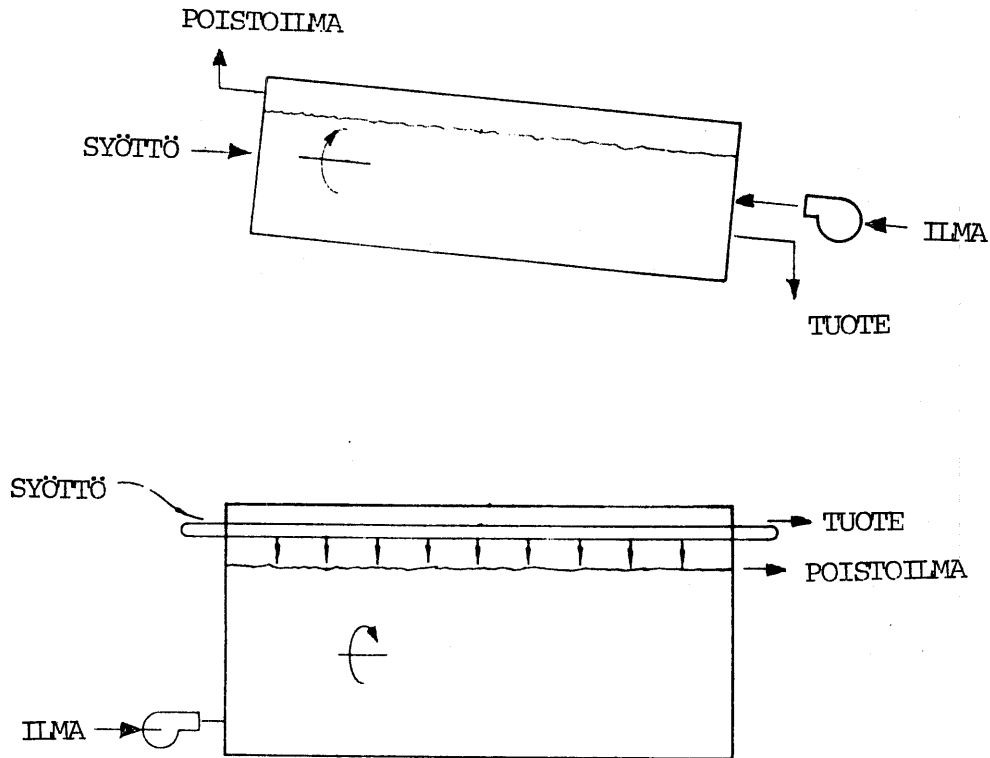
Varsinaisen jatkuvatoimisen reaktorikompostoinnin tyyppisovellutukset on esitetty kuvissa 11 ja 12.



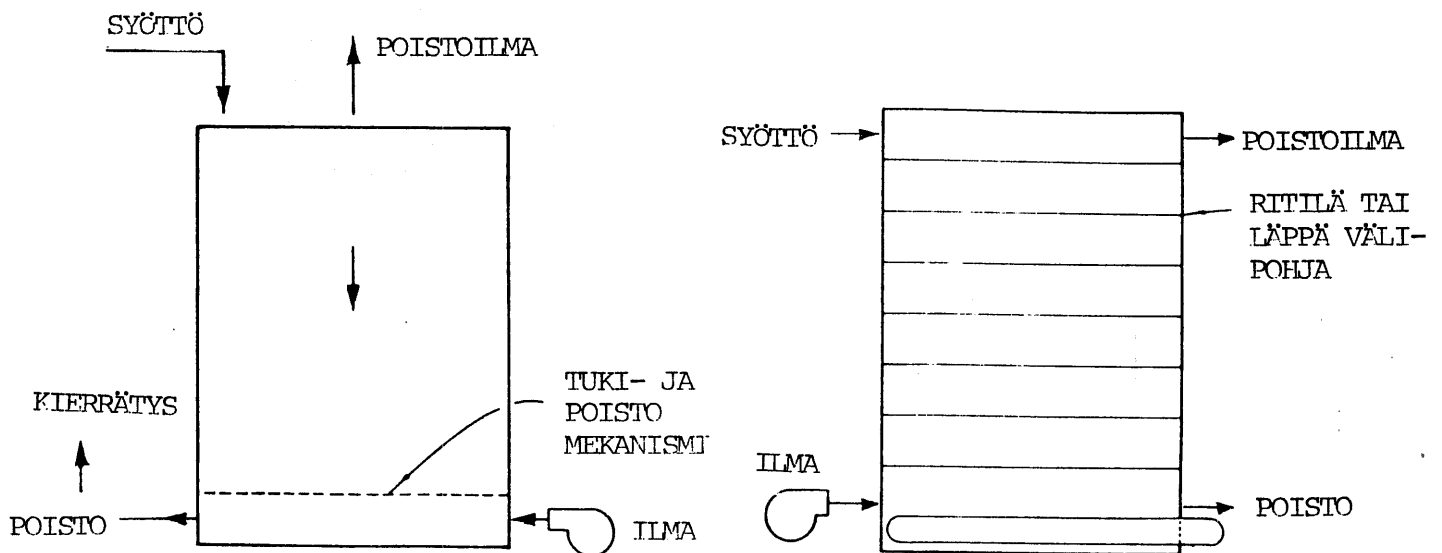
Kuva 10. INKA-reaktorikompostointimenetelmä (Paatero ym. 1984)
 a. sekoitusruuvit työasennossa
 b. sekoitusruuvit palautusasennossa

Varsinaiset jatkuvatoimiset kompostointireaktorit toimivat joko vaaka- tai pystysuoran massavirtauksen periaatteella. Esimerkkeinä vaakasuoran massavirtauksen reaktoreista ovat lievästi kallellaan olevat kompostointirummut, sekä vaakasuorat tunneli- ja kaukaloreaktorit. Siilo- ja tornireaktorit ovat esimerkkeinä pystysuoran massavirtauksen reaktoreista. Kompostointirummuissa massavirtauksen saa aikaan kaltevassa asennossa olevan pyörivän rummun liike. Tunneli- ja kaukalo-reaktoreissa massavirtaus saadaan aikaan mekaanisin tai hydraulisin apulaittein, jolloin massa siirtyy reaktorin syöttöpäästä sen purkupäähän (Paatero ym. 1984).

Siiloreaktoreissa massa syötetään siilon yläpäähän, josta se vähitellen valuu omalla painollaan alas, koska reaktorin pohjalta otetaan kompostoitu tuote mekaanisesti ulos (Paatero ym. 1984).



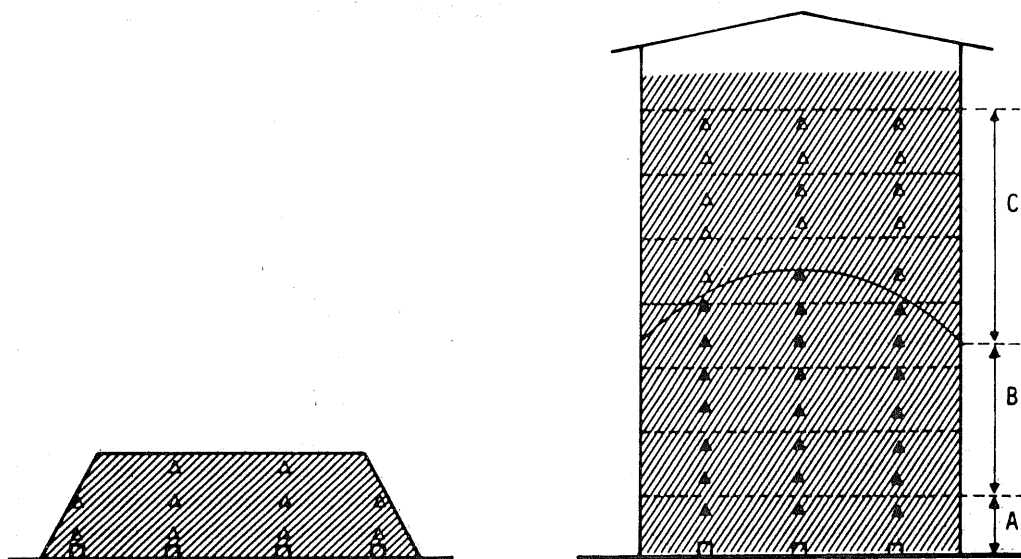
Kuva 11. Reaktorikompostoinnin tyyppisovellutuksia vaakasuorassa massavirtauksessa (Haug 1980)



Kuva 12. Reaktorikompostoinnin tyyppisovellutuksia pystysuorassa massavirtauksessa (Haug 1980)

Tornireaktoreissa massa syötetään myös reaktorin yläpäähän, josta se mekaanisesti siirretään reaktorista olevilta kerroksilta alaspäin, kunnes kompostoitu materiaali mekaanisesti poistetaan reaktorin alimmalta kerrokselta. Tornireaktorissa massa virtaa osittain epäjatkuvasti, koska materiaali viipyy yhdellä kerroksella määrääjän ja siirretään vasta sitten seuraavalle kerrokselle (Paatero ym. 1984).

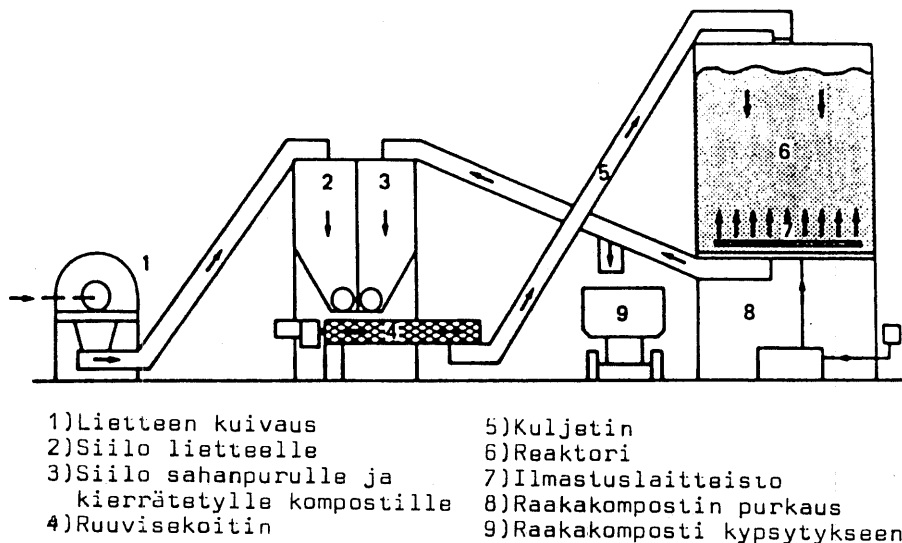
Kaikissa reaktorikompostointisovellutuksissa ilmastus- ja reaktorikaasujen poisto tapahtuu koneellisesti. Pystyreaktorit saattavat olla jopa 10 metriä korkeita. On kuitenkin esitetty ettei kompostimassan korkeuden aumoissa ja reaktoreissa tulisi ylittää 3 metriä, koska tasaisen happipitoisuuden järjestäminen on vaikeata korkeammissa systeemeissä (kuva 13). Edellä esitetty koskee vain siiloreaktoreja -ei tornireaktoreja, joissa välipohjilla olevan massan koekeus ei ylitä kolmea metriä. Tornireaktorin haittana ovat korkeammat rakennus- ja huoltokustannukset (DeBertoldi 1984).



Kuva 13. Vasemmalla kaavakuva aumasta ($h < 2.5$ m), jossa koko seoksessa on riittävä happipitoisuus. Oikealla kaavakuva siiloreaktorista, jossa ilmenevät erilaiset happipitoisuusvyöhykkeet. A.liiallisen ilmastuksen vuoksi kuivunut vyöhyke. B.happipitoisuus optimaalinen. C.anaerobinen vyöhyke

Kaikkien kompostireaktorien toiminnalle on ominaista, että niissä 3-10 vuorokauden kompostointiajassa saavutetaan vain tavallaan esikompostointi, joka yleensä aina vaatii muutaman kuukauden jälkikompostointivaiheen. Tyypilliset viiveajat rumpureaktoreissa ovat 3-6 d, siiloreaktoreissa 12-15 d ja tornireaktoreissa 5-10 d (Paatero ym. 1984).

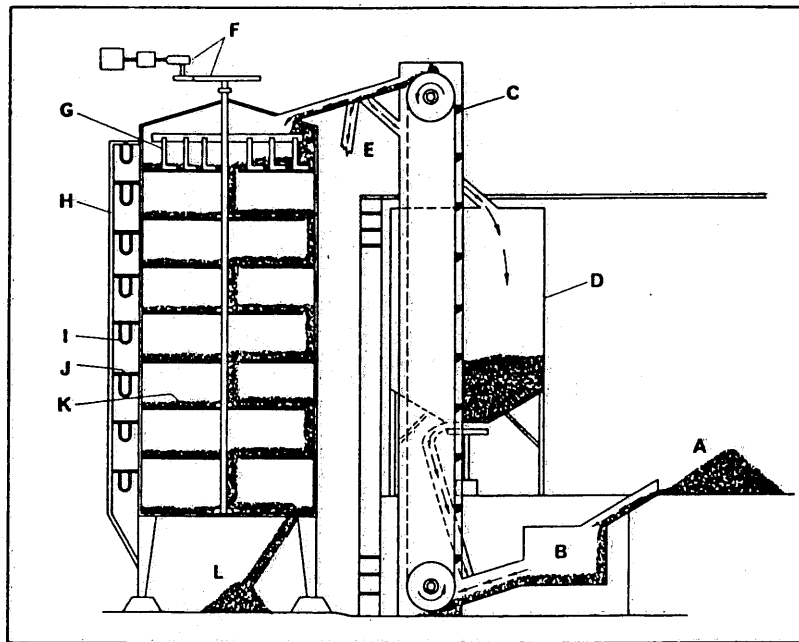
Ruotsissa talousjätteen kompostoinnissa ei tornireaktorin viipymä riittänyt stabiloimaan jätettä riittävästi, vaan komposti alkoi mädäntyä jälkikypsytysvaiheessa (Hovsenius et al. 1978).



Kuva 14. Norjassa Bekkelagetissa toimiva BAV- reaktori (Paulsrud and Eikum 1984)

Kuvassa 14 on BAV-tyyppinen kompostointireaktori, joka on toiminut Osllossa vuodesta 1980. 500 m³:n reaktori kompostoi jätevesilietettä tukiaineena sahanpuru ja raakakomposti. Laitoksen kapasiteetti on n. 30 m³/d kuivattua lietettä ja viipymä on 10-12 d, jonka jälkeen on vielä 6-9 viikon kypsytyks kasoissa. Laitos ei ole toiminut odotusten mukaan. Erilaisista teknisistä ongelmista mainittakoon epätasainen viipymä reaktorissa: Reaktorin keskellä massa saattaa läpäistä laitoksen yhdessä vuorokaudessa, kun reaktorin laidoilla saattaa viipymä olla 4-5 viikkoa (Paulsrud and Eikum 1984). Laitoksen investointikustannukset vuonna 1980 olivat 10 miljoonaa kruunua ja pääoma- ja käyttökulut yhteensä n. 500 Nkr/m³ tai 1000 Nkr/t (From 1981).

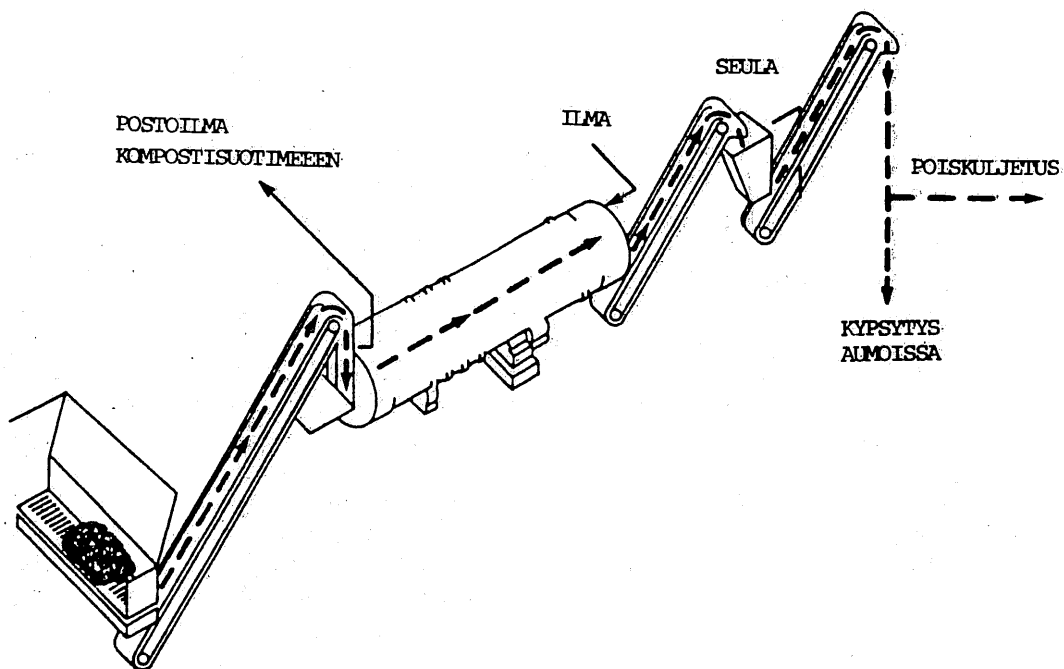
Kuvissa 15 ja 16 on esitetty muita erilaisia kompostointireaktoriratkaisuja.



A - garbage-sorting unit
B - grinder
C - bucket conveyor
D - storage tank
E - by-pass
F - rotating mechanism

G - ploughshares
H - air pipe
I - manometer
J - orifice plate
K - deck
L - compost

Kuva 15. Earp- Thomas reaktorin toimintaperiaate (Gotaas 1976)



Kuva 16. Dano- kompostorin toimintaperiaate (EPA 1979)

4.4 Lierokompostointi

Komposteissa esiintyy yleisenä ja usein erittäin runsaana eräs lierolaji, tunkioliero (*Eisenia foetida*). Tunkiolierojen ravinnoksi kelpaa lähes kaikenlainen helposti hajoava jäte. Lierojen syömä jäte muuttuu mullan kaltaiseksi mureiseksi ja hajuttomaksi tuotteeksi (Huhta 1982).

Lierojen käyttöä jätteiden ja jätevesilietteiden käsittelyssä on tutkittu viime vuosikymmenen alusta. Pisimmälle tutkimus on ehtinyt USA:ssa ja Japanissa. Japanissa on toiminnassa useita lierokompostointilaitoksia -mm. puunjalostusteollisuuden lietteille. Siellä on arvioitu olevan n. 20 yhtiötä, jotka käsittelevät 2000 - 3000 t/kk jätettä kukin, sekä useita pienempiä yhtiöitä (Donovan et al. 1981). USA:ssa toimii ainakin yksi kunnallista lietettä kompostoiva laitos (NCAT 1984). Brasilialainen metsäteollisuusyhtiö Riocell OY on myös tutkinut lietteidensä lierokompostointia (Jäppinen ym. 1985).

Lierokompostoinnilla tuotettu multa voidaan käyttää lannoitteena tai maanparannusaineena ja erilleen seulottua lierobiomassaa voidaan käyttää rehuna. Brasialaisten tutkimusten mukaan ei ole havaittu raskasmetallien tai kloorattujen fenolien rikastumista ravintoketjuun, kun metsäteollisuuslietteessä kasvatettuja lieroja on käytetty kalanrehuna (Jäppinen ym. 1985). EPA:n (1979) mukaan taas kadmium kumuloituu tunkiolieroon.

Riittävällä ravinnolla 20 - 25 °C lämpötilassa tunkiolieron kehitys munasta sukukypsyyteen kestää 7 - 8 viikkoa, ja sadan yksilön alkupopulaatio pystyisi vuodessa tuottamaan 250 000 jälkeläistä. Alle 10 °C:n lämpötiloissa lierojen lisääntyminen hidastuu ja yli 35 °C:ssa ne kuolevat. Anaerobisia olosuhteita lierot eivät siedä ja optimaalinen kosteuspitoisuus niille on 80 - 90 % , vaikkakin ne selviytyvät vielä 50 %:n kosteudessaakin (Edwards et al. 1984).

Edellä esitetyt lierojen elinolosuhteet asettavat rajat lierokompostoinnin tekniselle toteutukselle. Kompostoitavan massan on oltava ohuena kerroksena, jotta aerobit olosuhteet säilyvät, eikä mikrobitoiminta kohota lämpötilaa yli 35 °C:n. Lierokompostoinnin vaatima tila on noin 1.5-kertainen verrattuna tavanomaiseen kompostointiin (Lehtokari 1985). Sopivan lämpötilan ylläpitäminen saattaisi osoittautua vaikeaksi Suomen vaihtelevissa ilmasto- oloissa.

Lierojen erottamisessa valmiista mullasta voidaan käyttää seuloja tai sitten menetelmää, jossa aumat perustetaan vanhojen väliin, jolloin lierot vaeltavat uusiin aumoihin koska niissä on saatavissa enemmän ravintoa, ja vanhat aumat voidaan purkaa. Runsaat sateet saattavat tosin häivyttää koko lieropopulaation (Donovan et al. 1981).

Lierokompostointi on varsin työvoimavaltaista, eikä se aina-kaan vielä ole kustannuksiltaan kilpailukykyinen menetelmä (Donovan et al. 1981).

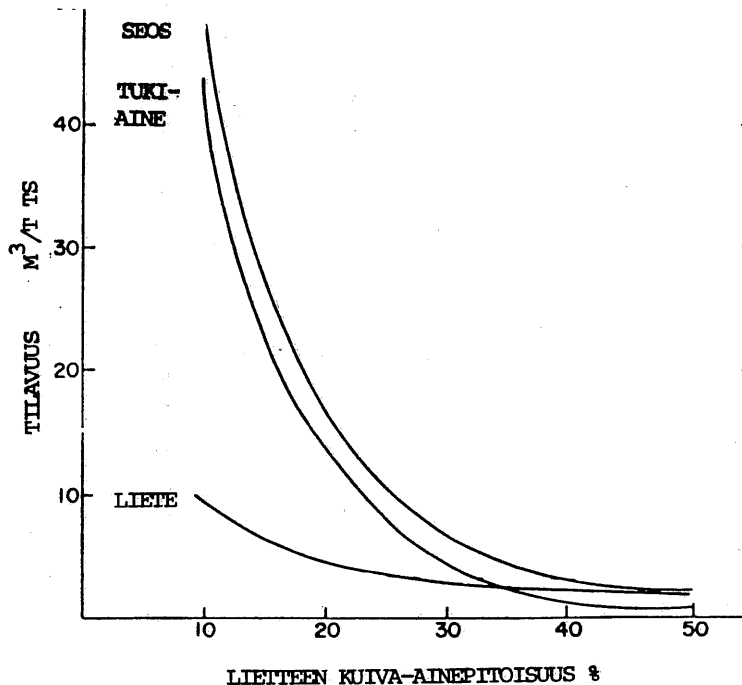
Lierokompostoinnista (eng. vermicomposting) on myös suosittu käytettäväksi nimitystä lierostabilointi, koska menetelmässä ei tapahdu kompostoinnille olennaista lämpötilan nousua (Lehtokari 1985).

4.5 Seosaineet

Jätevesilietteen kompostointi kuivattunakaan ei onnistu ilman kuohkeuttavaa tukiainetta, jonka tärkein rooli kompostointiprosessin kannalta on kosteuspitoisuuden alentaminen ja ilmavana kantajana toimiminen. Seosaine voi itse olla tehokkaasti kompostoituvaa materiaalia tai biologisesti inerttiä taikka jotakin näiden väliltä (Lehtokari ja Paatero 1981).

Erilaisia mahdollisia seosaineita ovat: puuhake, kuorirouhe, sahanpuru, lehdet, kunnallinen jäte, olki, turve, auringonkukan kuori, kierrätetty komposti, silputut autonrenkaat, muovipallot ym. (Willson 1983 ; Lehtokari ja Paatero 1981 ; Lahtinen 1983).

Laajamittaisessa käytössä ovat USA:ssa puuhake ja Suomessa puunkuori. Ulkomaisissa kompostointilaitoksissa on onnistuttu vähentämään tukiaineen tarvetta kierrättämällä valmista kompostia seosaineeksi. Tukiaineen tarpeeseen vaikuttaa ratkaisevasti jätevesilietteen kuiva- ainepitoisuus (kuva 17).



Kuva 17. Lietteen, tukiaineen ja seoksen tilavuus lietteen kuiva- aineen funktiona (Epstein et al. 1983)

4.51 Puunkuori

Havupuun kuori on yleisesti ottaen oikein hyvä materiaali lietekompostissa (Viitasalo 1983). Kuoren hajoaminen on hidas prosessi, sillä kuori koostuu suureksi osaksi vaikeasti hajoavasta ligniinistä (Kivinen 1981).

Suomessa tehdyssä lietteen kompostointikokeessa (Kemppainen 1979) todettiin tuoreesta kuoresta tehdyn kompostin toimineen paremmin kuin kompostin, jossa tukiaineena oli maatunut kuori. Viljelykokeissa todettiin kuitenkin maatuneesta kuoresta tehdyn kompostin antaneen paremman tuloksen. Samoissa viljelykokeissa havaittiin kompostin arvon kasvatusalustana olevan sitä suurempi, mitä enemmän se sisälsi lietettä. Tämä tulos on sopusoinnussa sen tosiseikan kanssa, että lietettä kompostoitaessa tulisi kalliin tukiaineen osuus olla mahdollisimman pieni.

Jätevesilietettä kompostoitaessa on yleinen kuori- lietesuhde ollut noin 2:1 (Lindfors et al. 1979 ; Lahtinen 1983 ; Viitasalo 1983), joskin myös suhde 1:1 on mahdollinen, mikäli riittävästä ilmastuksesta huolehditaan esim. kääntöjen avulla (Mäkelä 1983).

Taulukossa 9 on esitetty turpeen ja havupuun kuoren ravinne-, hivenaine- ja raskasmetallipitoisuudet.

Puunkuoren saanti vaikeutui ja sen hinta nousi viime vuosikymmenen energiakriisien myötä. Noin 90 % syntyvästä kuoresta poltetaan. Suuri osa kuoresta kuitenkin kuoritaan ns. märkäkuorintamenetelmällä, jolloin jätteen kosteuspitoisuus jää korkeaksi (60...80 %). Kuiva- ainepitoisuuden laskiessa tason 35 % alapuolelle ei kuoren poltto ole kannattavaa (Nickull 1985). Samoin vesikuljetuksissa ja -varastoinnissa kuoren kosteuspitoisuus kasvaa liian suureksi energiataloudellisesti kannattavan polton kannalta. Myös kuivaa kuorijätettä voi olla paikallisesti saatavilla pieniltä sahoilta ja kuorinta- asemilta, jos soveltuvaa polton kapasiteettia ei ole käytettävissä (Lilja 1983).

Kuoren polttoarvo on Viitasalon (1983) mukaan n. 17 mk/m³. Yksi irtokuutio kuorta 42 %:n ka- pitoisuudessa vastaa 42 kg raskasta öljyä (Nickull 1985). Kuoren kuljetus on kallista, usein puolet kokonaiskustannuksista. Riihimäellä kuoren hinnaksi puhdistamolle toimitettuna on v. 1984 muodostunut 27 - 29.50 mk/m³ (vuoden 1985 hintatasoon muutettuna) (Sandelin 1985).

Taulukko 9. Turpeen ja havupuun kuoren ravinne-, hiven-
aine- ja raskasmetallipitoisuuksien keskiarvot (Saari ym.
1985)

	Puunkuori, keskiarvo	Turve, keskiarvo
N	0.4 %	1.5 %
P	0.4 %	1.5 %
K	0.08 %	0.15 %
Ca	0.75%	0.55 %
Mg	0.07 %	0.1 %
Fe	0.1 %	0.1 %
S	0.06 %	0.2 %
Br	6.6 mg/kgTS	-
Cd	-	0.5 mg/kgTS
Cl	240 "	-
Co	0.9 "	0.3 "
Cr	-	1 "
Cu	4.6 "	5 "
Ln	-	1 "
Pb	-	1 "
Mn	360 "	5 "
Mo	0.5 "	-
Na	140 "	-
Ni	-	1 "
Zn	90 "	5 "
Ti	-	25 "
pH	3.9-4.5	4.0-5.5
C	50 %	50 %
C/N	125	33
C/P	125	330

-tieto puuttuu

Edellä esitettyyn perustuen voidaan todeta kuoren olevan ai-
noa vartenotettava tukiaine harkittaessa metsäteollisuus-
lietteiden kompostointia. Kuljetuskustannukset jäisivät käy-
tännössä kokonaan pois ja kompostointilaitokselle kuoren hin-
naksi muodostuisi vain sen todellinen arvo energiantuo-
tannossa. Tämä riippuu kuoren kosteuspitoisuudesta.

Puunkuoren hitaan hajoamisen vuoksi sitä voidaan seuloa eroon
valmiista kompostista ja kierrättää tukiaineena. Seulonta
parantaa myös tuotteen laatua ja on suotavaa, mikäli tukiaine
sisältää suuria kappaleita.

Kompostoinnin aikana tapahtuva seoksen tilavuuden pienene-
minen riippuu tukiaineen hajoavuudesta ja kompostointiajasta.
Liete-kuorikompostin tilavuus pienenee 6-8 kk:ssa noin 35 %
(Viitasalo 1976 ; Saari ym. 1985).

4.52 Turve

Toinen Suomessa varteenotettava kompostoinnin tukiaine on turve. Sen käyttöä on kokeiltu, mutta se ei ole pystynyt syrjäyttämään kuorta. Kompostoinnissa käytettävän turpeen tulee olla suhteellisen maatumatonta. Tarkoitukseen soveltuu muihin kohteisiin huonosti sopiva pintaturve, jota turve-tuotannossa syntyy 2-3 Mm³ vuodessa (Thun ym. 1984).

Turpeen käyttö jätevesilietekompostin tukiaineena perustuu lähinnä sen kykyyn imeä runsaasti vettä kuivattuna (Paatero ym. 1984). Jos kosteuspitoisuus on yli 60 % , ei turpeesta ole kompostoinnissa oleellista hyötyä kuivikkeena. Turpeen pienen hiukkaskoon vuoksi on turve- lietekompostin ilmavuus vaikeaa pitää yllä pelkällä kompostin kääntämisellä (Lilja 1983).

Turpeen etuna esim. puunkuoreen verrattuna on toisaalta tasalaatuisuus ja vähäinen tarve tuotteen jälkikäsitteilyyn (Lilja 1983).

Turpeen kuiva- aineen tilavuuspaino vaihtelee suuresti maatumisasteen mukaan. Tämä on huomioitava turpeen ja lietteen sekoitussuhteen valinnassa (Vapo 1976). Turpeen määrän tulee turve- lietekompostissa olla ainakin kolminkertainen liete- määrään nähden (Paatero ym. 1984). Turpeen kuiva- aineen tilavuuspainon pienetessä voi turve- lietesuhde kasvaa niin- kin suureksi kuin 7:1 (Vapo 1976).

Pintaturpeen hinnaksi suolla kuormattuna on arvioitu 14-24 mk/m³ laadusta ja puhtausasteesta riippuen. Kuljetuskustannukset 30...100 km:n etäisyydelle ovat n. 5-10 mk/m³ (Thun ym. 1984). Riihimäellä on kasvuturve puhdistamolle toimitettuna maksanut vuonna 1984 29.70 mk/m³ (hinnat vuoden 1985 hintatasossa) (Sandelin 1985).

4.53 Muut tukiaineet

Muita mahdollisia kompostoinnin tukiaineita ovat jo aiemmin mainitut sahanpuru, olki, auringonkukankuori, haravointijäte, kunnallinen jäte ym. Tällaisten jätteiden saatavuus on yleensä paikkakuntakohtainen kysymys ja todennäköisimmin ne tulisivat kysymykseen varsinaisen tukiaineen lisänä. USA:ssa yleisesti käytetty puuhake lienee Suomessa liian kallista tähän tarkoitukseen.

Myös erilaisia inerttejä tukiaineita, kuten silputut autonrenkaat, kevytsora, muovirakeet ym. voidaan käyttää. Näiden käyttö edellyttää seulontaa ja tukiaineen kierrätystä. USA:ssa käyttää yksi täyden mittakaavan kompostointilaitos tukiaineenaan silputtuja autonrenkaita. Tehdyissä tutkimuksissa on kumisilpusta todettu vapautuneen rautaa ja sinkkiä, mutta ei mainittavasti muita metalleja (Higgins 1984).

Kuvassa 18 on esitetty Norjassa joillakin pienillä ja keskikokoisilla (avl < 20000) jätevedenpuhdistamoilla käytössä oleva menetelmä, jossa lietteestä (20-25 % TS) ilman tukiainetta tehdään kasoja. Kuivumisen myötä kasojen pinnalle muodostuu kuiva kuori, joka sekoitettuna muodostaa eräänlaisen tukiaineen ja mahdollistaa kompostoitumisen (Paulsrud and Eikum 1984). Menetelmän haittana lienevät hajut, koska komposti on paljolti anaerobinen.

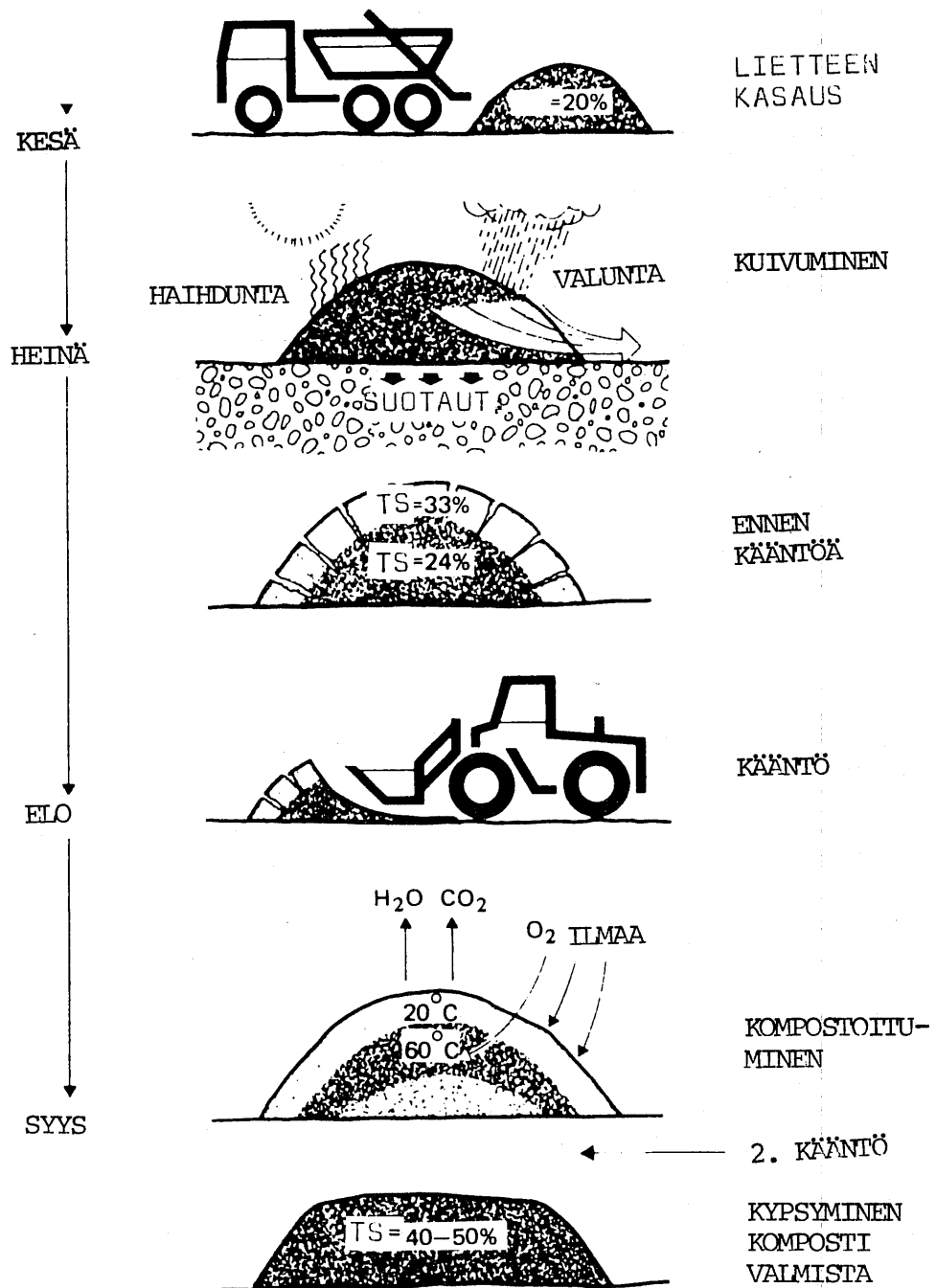
Yksinkertaisimmassa muodossaan aumakompostoitumista tapahtuu, kun liete ilman tukiainetta kasattuna jäätyy ja sulaa ja sen huokoisuus lisääntyy riittäväksi hitaalle kompostoitumiselle. Prosessi tosin saattaa kestää vuosia (Puolanne and Kiiskinen 1984).

4.54 Muut seosaineet

Hiekka ei ole kompostoinnin tukiaine, mutta joissakin tapauksissa sitä käytetään antamaan kompostille tarpeellista painoa, etenkin kun kompostia käytetään pensasistutusten alustana. Sen sijaan nurmikkaa varten hiekkaa ei kompostissa tarvita (Lahtinen 1983). Esimerkiksi Helsingin kaupungin jätevedenpuhdistamon lietettä kompostoitaessa on hiekka lisätty kompostiin suhteessa 1:3...1:5 (Viitasalo 1983, 1976). Hiekka on kallista, joten sille on syytä etsiä korvikkeeksi sopivia jättemaita.

Kompostiin voidaan joutua sekoittamaan myös tyypeä prosessin nopeuttamiseksi. Yhdyskuntajätettä kompostoitaessa tyypillisyys voidaan tehdä jätevesilietteen muodossa. Metsäliiton teollisuus OY:n Kirkniemen ja Hyltebruk AB:n tehtailla kompostoituihin vähäravinteisia kuitulietteitä yhdessä kuoren kanssa ja seokseen lisättiin tyypeä ureana (Lindholm 1986 ; Lindfors et al. 1979).

Koska puunkuori on hapanta, suosittelee Viitasalo (1983) kalkin käyttöä neutralointiin. Tähän voidaan käyttää jättekalkkia, kalkkituotteita tai lentotuhkaa. Lietekuorikompostille kalkkia suositellaan 8 - 16 kg/m³. Neutraloinnin tarpeesta ei kuitenkaan olla yksimielisiä, sillä kalkin lisäys edesauttaa typen haihtumista ammoniakki muodossa. Paatero ym. (1984) suosittelee kalkitsemista, mikäli sitä yleensä tarvitaan, vasta kompostoinnin jälkeen. Riihimäellä tuhkan käytöstä luovuttiin nopeasti sen aiheuttamien puhtaanapito-ongelmien vuoksi (Sandelin 1985).



Kuva 18. Norjassa paikoin käytössä oleva tukilaineeton auma-kompostointimenetelmä (Paulsrud and Eikum 1984)

4.6 Kierrätyskompostointi

Kierrätyskompostoinnilla tarkoitetaan kompostointiprosessia, jossa tukiaineena käytetään kompostituotteesta mekaanisesti erotettua tukiainetta tai kompostituotetta sellaisenaan. (Paatero ym. 1984)

Kierrätyskompostointi voidaan toteuttaa periaatteessa kahdella eri tavalla: tukiaineiden kanssa tai kierrättämällä pelkkää lietetuotetta.

4.61 Kierrätyskompostointi tukiaineella

Kierrätyskompostointi tukiaineiden kanssa voidaan toteuttaa joko käyttämällä inerttejä tukiaineita, joita tässä ei käsitellä enempää, tai hitaasti hajoavia tukiaineita. Kuorirouhe ja puuhake ovat verraten hitaasti hajoavia ja soveltuvat varsin hyvin kierrätettäviksi (Paatero ym. 1984).

Kierrätteenä voidaan käyttää kompostoituneesta lietteestä erilleen seulottua tukiainetta tai valmista kompostia, jonka tilavuudesta suurimman osan muodostaa pääosaksi hajoamaton seosaine (Paatero ym. 1984).

USA:ssa on puuhaketta käyttävällä kompostointilaitoksella vertailtu näitä menetelmiä toisiinsa (Shea et al. 1980). Taulukossa 10 on esitetty vaihtoehtojen materiaaalitaseet. Vaihtoehto A käyttää seulottua haketta ja vaihtoehto B kierrättää kompostia tukiaineena. Huomattavaa on, että vaihtoehto B:n uuden hakkeen kulutus on noin kolmannes A:n kulutuksesta. Ero johtuu hakkeen vaikeasta seulottavuudesta. Vastaavasti on vaihtoehto B:ssä tuotetta saatu vain kolmannes A:han verrattuna. Vaihtoehto B:ssä seosaineiden määrässä tapahtuvan säästön lisäksi tapahtuu säästöä seulonnan tullessa tarpeettomaksi. Myös melu- ja pölyhaitat vähenevät seulonnan jäädessä pois.

Kierrätettäessä tukiainetta kompostituotteen on oltava seulonnan helpottamiseksi kuivahkoa. Mikäli tukiainekompostia kierrätetään, on kierrätteen oltava tässäkin tapauksessa melko kuivaa (kosteuspitoisuus alle 50 %), jotta kompostiseoksen kosteuspitoisuus ei nousisi liian suureksi. Jotta prosessissa saavutettaisiin riittävä kuivuminen, tarvitaan tehokasta ilmastusta, mikä on parhaiten järjestettävissä koneellisesti ilmastetussa auma- tai reaktorikompostoinnissa (Paatero ym. 1984).

USA:ssa Mainessa on kunnallista jätevesilietettä ja puunkurorta kompostoitu ilmasto-olosuhteissa, jotka ovat kylmyydeltään lähellä suomalaista. Kompostoituminen tapahtuu koneellisesti ilmastetuissa aumoissa. Laitoksella on valmis komposti todettu hyväksi tukiaineeksi yhdessä tuoreen kuoren kanssa. Talvella kovilla pakkasilla on toimivasta aumasta

otettu komposti erinomainen prosessin käyntiinlähdön vauhdittaja (Olver 1980). Vastaavasti kuorta seulotaan ja kierrätetään USA:ssa Glatfelter Co:n paperi- ja sellutehtaalla, jossa syntyneet lietteet kompostoidaan (Carter 1983).

Taulukko 10. Materiaalivirtojen vertailu kierrätettäessä kompostista erilleen seulottua haketta (A) tai seulomatonta, stabiilia kompostia (B) (Shea et al. 1980; Paatero ym. 1984)

Prosessivaihe	Vaihtoehto A		Vaihtoehto B	
	t/d	m ³ /d	t/d	m ³ /d
Lietteen syöttö	100,0	85,0	100,0	85,0
Uutta puuhaketta sekoitukseen	18,7	57,1	—	—
Kompostia sekoitukseen	—	—	167,0	269,1
Kierrätettyä puuhaketta sekoitukseen	65,5	143,0	—	—
Seosta yhteensä	184,2	229,4	267,0	321,1
Uutta haketta kompostin pohjal- le	9,3	28,5	9,3	28,5
Valmista kompostia auman peit- teeksi	26,7	47,9	29,7	47,9
Kompostiauma ilmastuksen alussa	220,2	305,8	306,1	397,6
Kompostiauma ilmastuksen lo- pussa	173,4	305,8	220,0	357,0
Materiaalia kuivatuksen jälkeen	140,3	224,8	—	—
Tuotetta	74,8	127,1	25,2	40,6
Seulottua haketta	65,5	143,1	—	—

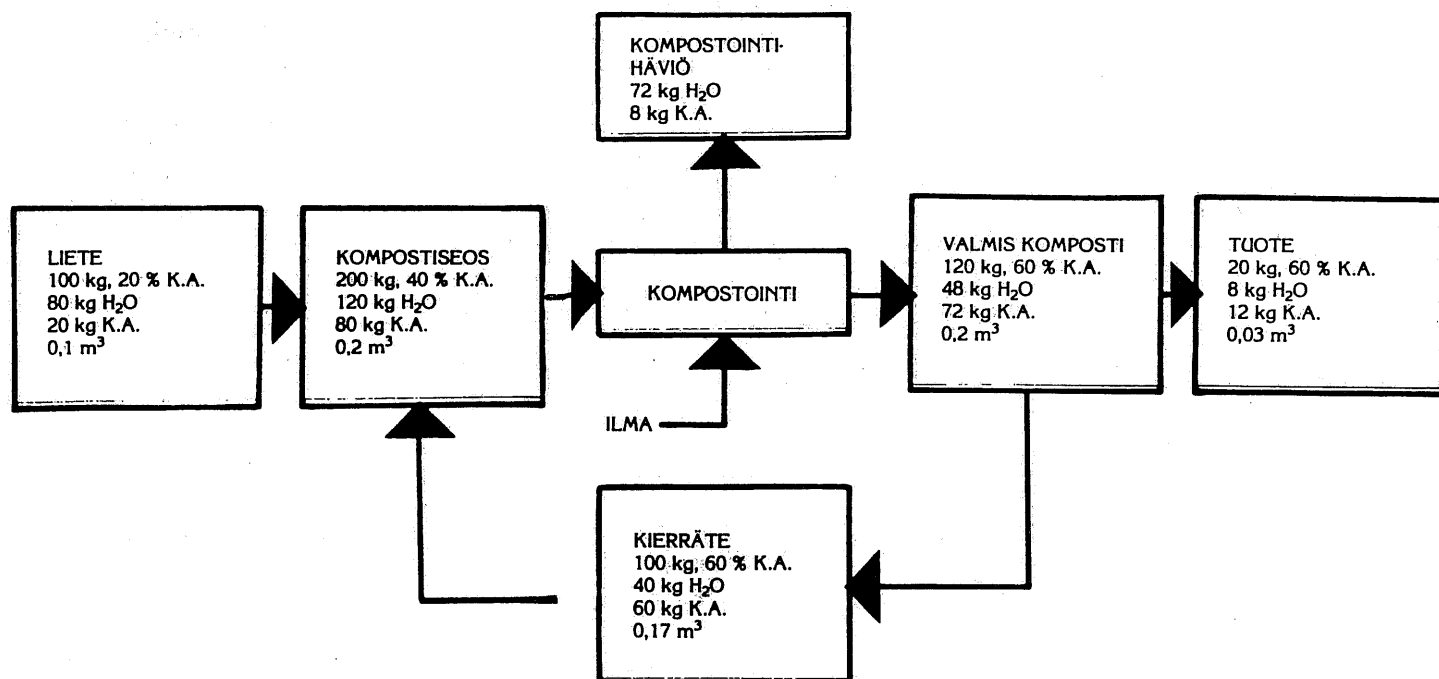
4.62 Kierrätyskompostointi ilman tukiainetta

Mikäli tukiainetta ei käytetä, on kosteuspitoisuuden säätö ainoa keino aikaansaada lietekompostiin riittävästi vapaata ilmatilaa (Paatero ym. 1984). Tällöin voidaan lietteeseen sekoittaa valmista lietekompostia kosteuspitoisuuden laske-
miseksi n. 60 %:iin, jota voidaan pitää kriittisenä rajana (Haug 1980). Jotta kierrätteellä saavutettaisiin tarvittava kosteuspitoisuuden säätö, on kompostoitumisen aikana tapah-
duttava huomattavaa kuivumista. Tämä edellyttää aumakom-
postoinnissa useita kääntöjä tai koneellista ilmastusta. Parhaiten tukiaineeton kierrätyskompostointi on toteutet-
tavissa reaktoreissa.

Ilman tukiaineita tapahtuvaa kierrätyskompostointia ei pohjoismaiden olosuhteissa tiettävästi ole kokeiltu avokompostointina. Suomen jokseenkin sateisiin ilmasto-olosuhteisiin tällainen menetelmä ei todennäköisesti sovellu. Onnistumisen edellytyksenä lienee ainakin kompostointialueen kattaminen (Paatero ym. 1984).

Kuvassa 14 on esitetty Oslossa toiminnassa oleva reaktori, johon päivittäin on syötetty 30 m³ 20 % TS lietettä ja tukiaineeksi 10 m³ sahanpurua ja 60 m³ raakakompostia. Valmista tuotetta on saatu päivittäin noin 20 m³ (From 1981).

Suomessa on pilot-mittakaavaisella INKA-tyyppisellä reaktorilla onnistuttu kompostoimaan jätevesilietettä ilman tukiainetta (Lehtokari ja Paatero 1984) (kuva 19).



Kuva 19. Materiaalivirrat pilot- mittakaavaisessa kierrätyskompostoinnin reaktorisovellutuksessa (Lehtokari ja Paatero 1984)

4.7 Kompostin jälkikäsittely

Kompostituotteen jälkikäsittelyn tarve riippuu kompostoinnissa käytettävistä materiaaleista ja valmiin tuotteen käyttökohteesta. Eri jälkikäsittelyoperaatioita ovat: seulonta, jälkikypsytytys, lisäaineiden sekoitus ja varastointi.

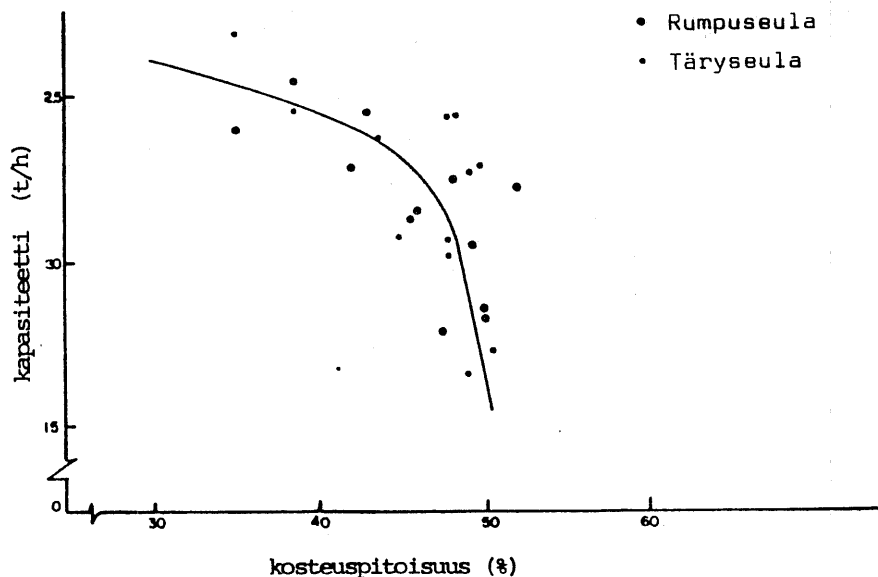
4.7.1 Seulonta

Mikäli tukiainetta ei kierrätetä, ei lietteiden kompostoinnissa ole välttämätöntä seuloa valmista tuotetta. Seulonnalla on kuitenkin tiettyjä etuja (EPA 1985):

- mahdollisuus tukiaineen kierrätykseen
- markkinoitavan tuotteen kokonaismäärän väheneminen
- parempi tuote
- mahdollisuus seuloa tuote eri silmäkokoa olevalla seulalla eri käyttötarkoituksiin

Periaatteeltaan seulat voivat olla taso-, täry- tai rumpuseuloja.

Kompostin seulominen on kuitenkin melko hankalaa, koska työvaihe on erittäin herkkä seulottavan kompostin kosteuspitoisuudelle. Seulottaessa puuhaketta kompostiseoksesta on seulojen kapasiteetin todettu laskevan jyrkästi, kun kosteuspitoisuus saavuttaa 45-50 %:n rajan (Willson 1983) (kuva 20).



Kuva 20. Seulojen kapasiteetti kosteuspitoisuuden funktiona kompostin seulonnassa (Willson 1983)

Ruotsissa on lietettä ja kuorta kompostoivilla laitoksilla ollut yleisesti seulontaongelmia sateisella säällä (Lindfors et al. 1979). USA:ssa on saatu kokemuksia, joiden mukaan seulonta saattaa tuottaa ongelmia koko talvikauden. Seulalle on ehdotettu vähintään katetta (Grombie 1985).

Kompostoitaessa kiinteätä yhdyskuntajätettä yksinään tai yhdessä jätevesilietteen kanssa, on seulominen valmiin tuotteen laadun kannalta välttämätöntä, koska jäte sisältää runsaasti luontoon kuulumattomia kiinteitä osasia.

Kompostoitaessa lietettä ja kuorta ei seulonta ole välttämätöntä. Esim. Helsingissä, joka v. 1981 tuotti 19400 m³ liete-kuorikompostia, ei seulontaa ole tehty (Viitasalo 1983). Ruotsissa jätevesilietettä ja kuorta kompostoivissa suurissa laitoksissa seulonta sensijaan on yleinen käsittelymenetelmä (Lindfors et al. 1979).

Seulonnan haittapuoliin kuuluvat teknisten ongelmien lisäksi laitteiston korkeat hankintakustannukset (Higgins et al. 1981 ; Alpert et al. 1982) (kappale 9.2).

Seulonta voidaan suorittaa joko ennen kypsytystä tai sen jälkeen.

4.72 Lisäaineiden sekoitus

Kompostin käyttötarkoituksesta riippuen valmiiseen seulottuun tai seulomattomaan kompostituotteeseen voidaan tuotantopaikalla sekoittaa lisäaineita, joita voivat olla hiekka, kalkki, erilaiset orgaaniset lisäaineet sekä mahdollisesti myös erilaiset lannoitteet ja multatuotteet. Sekoituksen tarkoituksena on tällöin saada käyttökohteeseen mahdollisimman hyvin soveltuva tuote (Paatero ym. 1984).

Ruotsissa on esim. vähäravinteisesta selluloosalietteestä ja kuoresta valmistettuun kompostiin lisätty seulonnan yhteydessä ravinteita. Myös muiden lietteen kompostointilaitosten tuotteisiin on sekoitettu -lopullisesta käyttötarkoituksesta riippuen -lannoitteita, hiekkaa, kivituhkaa, turvetta tai multaa (Lindfors et al. 1979).

4.73 Jälkikypsytytys ja varastointi

Reaktorikompostointia ja koneellisesti ilmastetuissa aumoissa tai kasoissa suoritettua nopeaa kompostointia seuraa yleensä jälkikypsytytys, jonka on suositeltu kestävän 1 kk (EPA 1980) - 2...3 kk (Lilja 1982). Myös tavallisessa aumakompostoinnissa voidaan suorittaa kypsytytys yhdistelemällä aumoja suuremmiksi.

Jälkikypsytyksellä on seuraavia etuja (Lilja 1982):

- hitaasti hajoavien, erityisesti selluloosapitoisten jätteen hajoaminen jatkuu, jolloin kypsytytys parantaa tuotteen C/N-suhdetta
- kypsytyksessä jatkuu typen mobilisoituminen nopeammin kasvien käytettävissä olevaan nitraattimuotoon
- tuotteen laatu maanparannusaineena paranee merkittävästi humuksenmuodostumisen edistytessä

- lierot lisääntyvät jälkikypsytysvaiheessa ja edistävät mm. mururakenteen muodostusta ja hienontavat materiaalia
- mahdollinen metaboliatuotteista aiheutunut fytotoksisuus häviää kypsytyksessä

Todettakoon, että kaikkien käyttökohteiden kannalta kypsytyks ei ole tarpeen. Tanskalaisen arvion mukaan 50 % kompostista voidaan markkinoida suoraan pikakompostoinnin jälkeen (Lilja 1982).

Joissakin tapauksissa hajoamistoiminta kypsytysvaiheessa voi muodostua niin voimakkaaksi, että auma vaatii ilmastusta joko kääntämällä tai johtamalla ilmaa aumaan.

Varastoinnin aikana komposti hajoaa edelleen hitaasti. Tavallisesti tuote on jo niin stabiilista, ettei tämä aiheuta ongelmia. Komposti voidaan varastoida ulos niin korkeiksi kasoiksi kuin laitteisto sallii. Kasojen laet on kuitenkin muotoiltava niin etteivät ne kerää vettä (EPA 1980).

Koska kompostin käyttö on ajoittaista, tulisi varastotilaa olla 3-6 kk:n tuotannolle (EPA 1980). Varastotilan tulisi olla asfaltoitu, jotta nitraattipitoisuus suotovesi voidaan ottaa talteen (Lilja 1982).

4.8 Prosessin seuranta ja kompostin kypsyys

Riittämättömästi stabiloituneen orgaanisen aineen käyttö maanparannukseen saattaa vaikuttaa haitallisesti kasvintuotantoon. Riittävän stabiilisuuden tulisi olla kompostituotteen tunnusmerkki. Toisaalta komposti saavuttaa joka tapauksessa aikaa myöten riittävän kypsyyden, joten ongelmana on lähinnä luotettavan stabiilisuuden määrittämismenetelmän kehittäminen, jotta kompostoinnin kustannuksia ei lisättäisi tarpeettoman pitkällä kypsytyksellä (Lilja 1982).

Kompostin kypsyyden määrittämisessä ja jopa määrittelemisessä on yhteinen käytäntö vielä saavuttamatta. Kompostin valmiutta kuvaavina käsitteinä käytetään stabiilisuutta ja kypsyttämistä. Stabiililla kompostilla voidaan tarkoittaa tuotetta, joka ei enää aiheuta merkittäviä hajua- tai hygieenisia haittoja ja on näin ollen kelvollista varastoitavaksi ja kuljetettavaksi asutuskeskuksissa. Kypsällä kompostilla tarkoitetaan lähes humusmaista homogeenista tuotetta (Lehtokari ja Paatero 1981), joka ei aiheuta typen ryöstöä eikä kasvitoksisia vaikutuksia (Lilja 1982).

Seuraavassa tarkastellaan kompostin ominaisuuksia, joilla voidaan indikoida sen riittävää kypsyttämistä:

Lämpötilan seuraaminen on luotettavin ja käyttökelpoisin menetelmä kompostointiprosessin seurannassa (Lehtokari ja Paatero 1981). Lämpötilan perusteella kompostia pidetään stabiilina, kun sen lämpötila on laskenut pysyvästi lähelle

ympäristön lämpötilaa eli läpikäynyt termofiilisen ja mesofiilisen jäähtymisvaiheen. Lämpötila on kuitenkin luotettava indikaattori vain, jos olosuhteet ovat riittävän lähellä optimia. Mm. liiallinen kuivuminen, hapenpuute tai ravinteiden niukkuus voi aiheuttaa lämpötilan laskua (Lilja 1982). Jyrkkä lasku osoittaa tavallisesti ilmastuksen tarvetta (Hanioja ym. 1974).

C/N-suhteen on esitetty indikoivan kompostin stabiilisuutta tavalla, joka suoranaisesti liittyy kompostin arvoon maanparannusaineena. Saksan Liittotasavallassa annetut alustavat viranomaisohjeet esittävät stabiilille kompostille raja-arvoksi C/N = 25...30 ja kypsälle kompostille 20...25 (Lilja 1982). Hanioja ym. (1974) ilmoittaa hyvän lopputuotteen C/N-suhteen olevan 10...20 ja voivan olla korkeampikin, mikäli hiili on vaikeasti hajoitettavassa muodossa. Lehtokari ja Paatero (1981) viittaavat ulkomaiseen tutkimukseen, jossa todetaan kypsän kompostin C/N-suhteen olevan luokkaa 10:1. C/N-suhteen käyttöä kompostin kypsyysindikaattorina on kuitenkin pidetty varsin epäluotettavana (Lilja 1982 ; Kempainen 1979).

Hiilen määrä voidaan arvioida kaavalla:

$$C\% = (100 - \%tuhka) / 1.8. \quad (1)$$

Kaavalla saadun arvon virheen on todettu olevan rajoissa 2...10 % , mikä yleensä on riittävä tarkkuus käytännön tehtäviin (Haug 1980).

Edellä mainittujen Saksan Liittotasavallan alustavien normien mukaan kypsän kompostin hehkutushäviön tulee olla 20 % kuiva-aineesta tai vähemmän. Norjalaisten suositusten mukaan hehkutushäviön tulee prosessin aikana pienentyä vähintään puoleen (Lilja 1982).

Kompostin stabiilisuutta voidaan arvioida myös ns. Jannin kokeella, jossa näytettä inkuboidaan 55 C:ssa 72 tunnin ajan ja mitataan pH. Tuotetta voidaan pitää hyvin stabiloituneena, jos tämän inkubointiajan jälkeen pH on 7 tai korkeampi (Lilja 1982).

Kompostin fytotoksisuuden määrittämistä itävyyskokeella on suositeltu, koska se suoranaisesti mittaa kompostin käyttökelpoisuutta viljelyssä (Zucconi et al. 1981). Lilja ja Paatero (1983) raportoivat kompostointikokeilusta, jossa fytotoksisten aineiden vähenemistä kompostista seurattiin itävyyskokeen avulla. Tuore näyte jauhettiin hienoksi ja levitettiin Petri-maljan pohjalle ohueksi kerrokseksi. Kerroksen päälle kylvettiin 100 kpl krassin siemeniä. Vertailu suoritettiin maljalla, jossa kasvualustana oli suodatinpaperi. Perusteellisen kastelun jälkeen inkuboitui maljoja 23 C:ssa ja itävyysprosentti määritettiin 4 vrk:n kuluttua.

Ruotsissa kompostointilaitoksia on useita ja siellä on näinollen myös kehitetty kriteerejä kompostin stabiilisuuden määrittelyyn. Alustavassa selvityksessä (SNV 1984) ehdotetaan kypsän kompostin rajoiksi seuraavia:

- liukeneva BOD₂ pienempi kuin 2 g O₂/kg TS
kompostia
- liukeneva nitraatti suurempi kuin 5 mg NO₃/kg TS
kompostia

Ruotsalaiset ovat tutkineet kompostin stabiloitumisasteen indikoimista mittaamalla hajoamisessa syntyvän CO₂:n määrä. Jonkinlaisia raja-arvoja kypsälle kompostille on ehdotettu ja kehittäilytyön alla on laitteisto, jolla CO₂:n määrä mitattaisiin epäsuorasti kompostin läpi virtaavan ilman lämpenemisen avulla, jolloin laitteisto olisi sovelias kentällä tapahtuviin mittauksiin (SNV 1984).

Myös humusaineiden määrää on käytetty kompostin stabiilisuuden kuvaamiseen (Lilja 1982).

5. KOMPOSTIN OMINAISUUDET

5.1 Kompostin lannoite- ja maanparannusarvo

Kompostilla on sekä lannoitus- että maanparannusvaikutus. Lannoitusvaikutus korostuu silloin, kun kompostin ravinnepitoisuus on suuri ja ravinteet suhteellisen helppoliukoisia. Maanparannusvaikutus, johon voidaan lukea kaikki muu paitsi kompostin suora kasvinravitseuksellinen vaikutus, korostuu taas silloin, kun maan rakenne on huono.

Kompostin ravinnepitoisuus ja ravinteiden liukoisuus riippuu raaka- aineiden ravinnepitoisuudesta sekä kompostointitekniikasta. Mitä ravinteikkaampia raaka- aineet ovat, sitä suurempi on myös kompostin ravinnevaikutus. Kompostointitekniikalla voidaan taas vaikuttaa lähinnä ravinnehäviöiden suuruuteen ja kompostin kypsyyssasteeseen (Paatero ym. 1984).

Kompostoitaessa menetetään ravinteita haihdunnan, denitrifikaation ja huuhtoutumisen vuoksi. Toisaalta typen häviöitä voi osittain korvata biologinen typensidonta (Lilja 1982).

Ravinteiden käyttökelpoisuus komposteissa on varsin pieni. Kompostien kokonaistypestä on liukoista, ensimmäisenä vuonna kasveille käyttökelpoista eri tutkimusten mukaan 3...40%. Kaikkien kasvien tarpeisiin ei yksinomaan kompostista vapautuva tyyppi riitä, mutta toisaalta se ei myöskään huuhtoudu helposti (Rinne ja Sippola 1984). EPA:n (1980) mukaan ensimmäisenä kasvukautena vapautuvan typen määrä olisi keskimäärin 10 % kokonaistypen määrästä. Kompostin sisältämän fosforin käyttökelpoisuus kasveille vaihtelee eri tutkimusten mukaan välillä 1...25 % kokonaisfosforin määrästä, keskiarvon ollessa 15 prosentin luokkaa (Paatero ym. 1984).

Kun suuri osa kompostin ravinteista on hitaasti vapautuvassa muodossa, on kompostin ravinnevaikutus pitkäaikainen.

Kompostin merkitys maanparannusaineena on huomattava. Se vaikuttaa monella tavoin edullisesti maan ominaisuuksiin (Haukioja ym. 1983):

- parantaa veden ja ravinteiden pidätyskykyä
- edistää mururakenteen syntymistä maahan
- vähentää maanpinnan liettymistä
- vähentää kasveille haitallisten aineiden vaikutusta maassa.
- vähentää maan happamuutta
- rajoittaa maalevintäisten kasvitautilien ja eräiden tuholaisten esiintymistä maassa.

Saksassa on arvioitu, että noin puolet yhdyskuntajätekompostien maan kasvukuntoa parantavasta vaikutuksesta johtuu eloperäisen aineen maanparannusvaikutuksesta, viidesosa kalitusvaikutuksesta, kuudesosa pääravinnevaikutuksesta ja lopu (n. 1/8) hivenaineista (Paatero ym. 1984).

Metsäteollisuuden lietekompostien ravinnepitoisuuksista on kirjallisuudessa tietoja vähän. Taulukoissa 1 ja 4 olevan tiedon perusteella voidaan päätellä ko. kompostien ravinnemäärien olevan huomattavasti vähäisempiä kuin kunnallisista jätevesilietteistä valmistettujen kompostien. Ravinnemäärät riippuvat kuitenkin erittäin paljon käytetystä lietteestä, ja ne olisi selvitettävä tapauskohtaisesti.

Taulukossa 11 on esimerkkinä ruotsalaisen Hyltebrukin selluloosalietteestä ja kuoresta kompostoimalla saadun maanparannusaineen tuotetietoja (Lindfors et al. 1979). Kompostiin on lisätty typpilannoitetta.

Taulukko 11. Selluloosalietteestä ja kuoresta valmistetun kompostin tuotetietoja (Lindfors et al. 1979)

pH	6.7
johtoluku	2 - 3
N	1.2 - 1.6 % TS
P	30 - 50 mg/l multaa
K	200 - 300 mg/l multaa
Mn	150 - 250 mg/l multaa
Ca	1200 - 1500 mg/l multaa
NO ₃ -N	30 mg/l multaa
Mg	<10 mg/l multaa
tilavuuspaino	0.6 - 0.8 (kg/l)
TS	35 % TS

Puunkuoren happamuuden vuoksi ei metsäteollisuuden lietekomposteilla liene kalkitusvaikutusta, päinvastoin kuorikomposteihin on suositeltu lisättäväksi kalkkia.

5.2 Patogeenit

Kunnallisia jätevesilietteitä kompostoitaessa asetetaan suuri paino prosessin hygienisoivalle vaikutukselle. Ko. lietteet sisältävät suolistoperäisiä taudinaiheuttajia, jotka rajoittavat niiden hyötykäyttöä.

Ihmispatoogeenien on todettu tuhoutuvan kompostissa yli 55 °C:n lämpötilassa 1 - 5 vuorokaudessa (Golueke 1984). Tästä huolimatta ei kompostointi tarjoa hygieenisesti ehdottoman turvallista tuotetta, koska ei ole varmaa, että koko seos on joutunut riittävän kuumiin olosuhteisiin.

Metsäteollisuuslietteitä kompostoitaessa ei kuitenkaan ole tarpeellista kiinnittää suurta huomiota prosessin patogeeneja tuhoavaan vaikutukseen, koska lietteet ovat näistä käytännössä vapaita (luku 2.4). Myöskään prosessin lopputuote ei näinollen sisällä ihmispatogeeneja.

Komposteissa tosin esiintyy yleisesti *Aspergillus fumigatus* niminen home, joka saattaa aiheuttaa terveysriskejä. Home aiheuttaa aspergilloosia, joka yleisemmin tunnetaan maanviljelijöillä esiintyvänä homepölykeuhkona. Oireita home aiheuttaa aiemmin sille altistuneille ja jostain syystä poikkeuksellisen heikon vastustuskyvyn omaaville. Tutkimukset ovat osoittaneet, että merkittävän korkeita *Aspergillus*-pitoisuuksia on mitattu vain, kun tukiaineena on käytetty puuhaketta tai sahanpurua (Golueke 1984).

Komposteissa saattaa olla myös kasvitauteja aiheuttavia patogeeneja, joiden tuhoutumiseen tarvitaan useita viikkoja yli 40 °C:n tai viikon yli 70 °C:n lämpötila. Eräät virukset kuten tupakkamosaikki selviävät näistäkin lämpötiloista (Hoitink and Poole 1980). Kasvipatogeenien pääasiallisia lähteitä ovat kauppojen ja ruokaa valmistavien laitosten jätteet (Golueke 1984). Kasvipatogeeneista ei näinollen metsäteollisuuden lietekomposteissa ole haittaa, päinvastoin on havaittu kuorikompostilla olevan voimakkaasti kasvitauteja inhiboiva vaikutus (Golueke 1984 ; Hoitink and Poole 1980).

Myöskään viljelyn kannalta haitallisia rikkakasvien siemeniä ei metsäteollisuuden lietekomposteissa ole.

5.3 Raskasmetallit

Jätevesilietteitä ja niistä tehtyä kompostia käytettäessä on aina kiinnitettävä huomiota mahdollisiin korkeisiin raskasmetallipitoisuuksiin. Lietteiden raskasmetallipitoisuuksille ja käytölle asetetut rajoitukset ilmenevät taulukoista 3 ja 6. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty metsäteollisuuslietteiden raskasmetallipitoisuuksia. Näistä voidaan havaita ko. pitoisuuksien olevan varsin alhaisia verrattuna kunnallisiin lietteisiin ja annettuihin raja- arvoihin. Näinollen näistä lietteistä tuotettu komposti on raskasmetallien osalta hyvälaatuista, vaikkakin tapauskohtaisia poikkeuksia saattaa ilmetä.

Kun kunnallisten puhdistamojen lietteitä käytetään maanviljelykseen, on laitoksella oltava esittää enintään vuoden vanha analyysi lietteen laadusta, josta ilmenevät ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet (liite 3) (Lääkintöhallituksen yleiskirje 1977). Vastaavan menettelyn voidaan katsoa koskevan myös metsäteollisuuden lietteitä, mikäli niitä käytetään maanviljelyksessä. Myös kompostille "laadunvalvonta" lienee paikallaan.

Saksan Liittotasavallassa on maanparannuskäyttöön tarkoitettuille lietteille määrätetty riskiraja siten, että lietettä vuosittain käytettäessä saavutetaan sadassa vuodessa ruokamultakerroksen raskasmetallipitoisuudet, jotka on arvioitu kasvien, eläinten ja ihmisten kannalta siedettäväksi ylärajoiksi (Lilja 1982). Tällä tavoin arvioidut raskasmetalli-

pitoisuuksien ohjearvot kompostissa on esitetty taulukossa 12. Vuotuiseena käyttö määränä on 15 t TS/ha (Saari ym. 1985).

Taulukko 12. Saksan Liittotasavallassa kompostin raskasmetallipitoisuuksille asetetut ohjearvot (Saari ym. 1985)

Ni	30 mg/kg TS
Pb	130 "
Cd	4 "
Cr	200 "
Cu	120 "
Zn	670 "
Hg	3 "

Vertailun vuoksi mainittakoon, että suomalaiset ja saksalaiset ohjearvot ovat varsin tiukkoja. Esim USA:ssa saa kadmiumia lietteen tai kompostin mukana kulkeutua pelloille vuoden 1987 jälkeen enintään 0.5 kg/ha/a. Kumuloituva kertymä saa kadmiumin osalta olla kaikkiaan 5 - 20 kg/ha riippuen maaperän pH:sta ja kationinvaihtokyvystä. Maan pH- arvon suositellaan ylittävän arvot 6,2 tai 6,5, koska tämä vähentää metallien kulkeutumista kasveihin. Myös muiden raskasmetallien kumuloituvat enimmäismäärät riippuvat maaperän kationinvaihtokyvystä (EPA 1985).

5.31 Raskasmetallien haitoista ja niihin vaikuttavista tekijöistä

Lietteen käytöstä saadut kokemukset osoittavat, että sinkki, kupari ja nikkeli saattavat aiheuttaa välittömiä kasvitoksisia ilmiöitä, jotka ilmenevät kasvun ja sadon pienenemisenä. Haitat ilmenevät metallimäärien ollessa suuria ja maan pH:n alhainen (<5.5) (EPA 1980).

Lietteiden sisältämistä aineista on eniten huolta aiheuttanut kadmium, koska se elimistöön jouduttuaan ei poistu sieltä ja suurina määrinä aiheuttaa vakavan sairastumisen. Myös lyijy ja elohopea ovat ihmisille erittäin myrkyllisiä, mutta nousee kasveihin niitä tulee olla maassa suuria määriä (Ettala 1978).

Eri raskasmetallit pidättyvät maahan eri tavoin. Cd, Co, Cu, Mn, Ni ja Zn ovat kasveille helposti saatavilla, kun taas Cr, Pb ja Hg pidättyvät maahan erittäin lujasti (Ettala 1978).

Raskasmetallien on havaittu sitoutuvan kompostiin huomattavasti tiukemmin kuin lietteisiin (EPA 1980).

Elohopean osalta tapahtuu saastumisen siirtymistä maaperästä ilmaan sen haihtuessa kompostointilämpötiloissa (Lilja 1983).

Raskasmetallien on todettu kulkeutuvan eri tavoin eri kasveihin ja kasvinosiin. Esim viljan jyviin kadmiumia kertyy merkittävästi vähemmän kuin lehtiin. Lehteviin vihanneksiin raskasmetallit kulkeutuvat helposti, kun taas nurmilla ei kulkeutumista ole tapahtunut (EPA 1980).

5.4 Kypsyys

Kompostituotteen kelpoisuuteen eri käyttökohteisiin vaikuttaa huomattavasti tuotteen kypsyys, joka riippuu kompostointiajasta ja -menetelmästä. Kypsyys liittyvät kiinteästi ns. fytotoksiset ilmiöt, jotka saattavat vaikeuttaa kasvien kasvua.

Mahdollisten kasvitoksisten ilmiöiden seuranta saattaa olla tarpeellista, mikäli kompostia käytetään vaativissa kohteissa tai suuria määriä yksityisissä kohteissa, joissa luottamus tuotteen laatuun olisi säilytettävä.

Esimerkkinä kompostin käytön mahdollisista haitoista ja laadunvalvonnan tarpeesta on Ruotsissa jatkuva oikeudenkäynti, jossa paikallinen puutarhuri hakee korvauksia Göteborgin jätevedenpuhdistamolta. Puutarhuri oli vuonna 1978 istuttanut 25 000 puun ja pensaan tainta ostamaansa lietekuorikompostiin sillä seurauksella, että taimet kuolivat ja tarhuri ajautui konkurssiin. Raastuvanoikeuden päätöksen mukaan taimien kuolema aiheutui lietteessä olevista kasveille haitallisista aineista. Vahingonkorvauksia ei kuitenkaan määrätty, koska oikeuden mukaan kasvitoksisuus ei ollut aavistettavissa kompostia toimitettaessa. Asian käsittely jatkuu hovioikeudessa. Oikeudenkäynnin lopputuloksella tulee olemaan suuri merkitys Ruotsin lietteiden hyötykäytölle. Tapahtumat ovat Göteborgin alueella johtaneet lietteen boikotointiin maanviljelijöiden taholta (Anon. 1985a).

5.5 Muut ympäristölle haitalliset aineet

Näitä yhdisteitä puunjalostusteollisuuden lietteissä on käsitelty luvussa 2.5.

Kompostituotteen laatuun vaikuttaa siinä olevien haitta-aineiden määrän ja laadun lisäksi niiden biohajoavuus. Kompostoitumisen aikana on monien aineiden todettu hajoavan. Osa yhdisteistä hajoaa vaarattomaan muotoon, joidenkin kohdalla metaboliatuotteet saattavat olla myrkyllisempiä kuin alkuperäinen yhdiste (Kaplan and Kaplan 1984).

Kompostointia on jonkin verran käytetty ongelmajätteen käsittelymenetelmänä (Alpert and Epstein 1981). Geenimani-pulaation avulla voidaan kehittää mikrobikantoja, jotka pystyvät tuhoamaan tiettyä yhdistettä moninkertaisesti

luonnon kantoja tehokkaammin. USA:ssa on esimerkiksi patentoitu mikrobikanta, joka hajottaa PCB:tä (Anon. 1985b). Helsingin Yliopiston yleisen mikrobiologian laitoksen kompostointikokeissa on havaittu laboratoriossa kehitetyn bakteerikannan hajottavan kloorifenoleja noin kaksinkertaisesti luonnonkantoihin verrattuna. Kokeissa on saatu lupaavia tuloksia sinistymisen estoaineella saastuneen maan käsittelyssä (Valo ja Salkinoja- Salonen 1984).

Monien puunjalostusteollisuuslietteissä olevien haitallisten yhdisteiden on todettu olevan biohajoavia (esim fenolit, kloorifenolit, kloroformi, klooratut hartsihapot, klooratut guajakolit ja PCB:t) (NCASI 1984).

Kompostoinnilla voidaan katsoa olevan positiivinen vaikutus lietteiden ympäristölle haitallisiin ominaisuuksiin. Lietteissä olevien haitta-aineiden pitoisuudet laimenevat tukiainetta lisättäessä, ja osa näistä aineista hajoaa kompostoinnin aikana.

6. KOMPOSTITUOTTEEN KÄYTTÖ

6.1 Kohteet

Kompostin potentiaaliset käyttökohteet voidaan ryhmitellä seuraavasti (Lilja 1982):

1. maanrakentamiskohteet

- yhdyskuntajätteen kaatopaikkojen maisemointi
- teollisuus-, kaivos- ja ongelmajätteiden kaatopaikkojen ja avolouhosten maisemointi.
- sorakuoppien ym. maisema- arpien paikkaus
- jyrkkien luiskien eroosion torjunta

2. viherrakentamiskohteet

- puistojen, tienreunojen, julkisten rakennusten ja asuntoalueiden vihertyöt
- pensaiden ja puiden istutustyöt

3. kasvintuotanto mm. seuraavissa kohteissa

- viljanviljely
- juurikasviljely
- rehunurmi
- puutarhat
- koristekasvituotanto
- metsänviljely

4. jotkin erityiskohteet.

6.11 Käyttö viher- ja maanrakentamisessa

Pääasialliseksi käyttömuodoksi kompostimullalle Suomessa on muodostunut massaistutusten kasvualustat. Tässä sen ominaisuudet tulevat parhaiten esiin. Vanhojen ja uusien nurmikoiden maanparannusaineeksi se soveltuu mainiosti ja tähän tarkoitukseen sitä käytetäänkin jonkin verran (Lahtinen 1983).

Hyvin maatunutta kompostia voidaan käyttää pintalannoituksena heinänurmille ja nurmikentille (Haukioja ym. 1983). Puistometsistä katoavaa humuskerrosta korvaamaan kompostimulta on erittäin hyvin sopivaa (Lahtinen 1983).

Pensasistutusten kasvualustaksi kompostimulta soveltuu sellaisenaan ollen jopa parempaakin kuin tavallinen multa ravinnepitoisuutensa, puhtautensa ja käsiteltävyytensä ansiosta. Isoille puille komposti on liian kevyttä ja kuohkeaa yksinään käytettynä, mutta 2/3 peltomultaa ja 1/3 kompostimultaa lienee sopiva seossuhde. Sama suhde sopinee parhaiten myös tallauksen kestäville käyttönurmikoille (Lahtinen 1983).

Ohjeita kompostituotteiden käyttömääristä on hyvin niukalti. Taulukossa 13 on esitetty ulkomaisia suosituksia käyttömääriksi. Taulukon arvoista havaitaan viherrakennukseen käytettävien määrien olevan varsin suuria. Viherrakentaminen

voidaankin nähdä kompostituotteiden todellisena käyttökohdeena tulevaisuudessa (Paatero ym. 1984). Esim. tienrakenushankkeet voivat paikoin vastaanottaa mittavia määriä lietekompostia (Puolanne 1985).

TVL käyttää humusta 300 m³/ha (n. 90 t ka/ha) pohjamaahan sekoitettuna metsittäessään mm. entisiä varamaanottopaikkoja ja läjitysalueita. Komposti voisi tässä tarkoituksessa korvata turpeen tai kuorihumuksen (Lilja ja Tahvanainen 1985).

Kompostia voidaan käyttää erilaisten kaatopaikkojen maisemointiin ja erilaisten maisemallisten vaurioiden, kuten vanhojen sorakuoppien, korjaamisessa. Jäkimmäiseen tarkoitukseen käytetyille komposteille on huuhtoutumisen välttämisen kannalta eduksi, että mineralisoituminen ei ole edennyt kovin pitkälle (Lilja ja Tahvanainen 1985).

Maanrakentamiskohteissa, missä käytettävät massamäärät ovat suuria, voidaan pitää merkittävänä etuna, että kompostin ravinnepitoisuudet ovat suhteellisen pieniä ja ravinteet hitaasti mobilisoituvia (Lilja ja Tahvanainen 1985).

Viherrakentamiskohteet soveltuvat lisäksi käyttökohteiksi lähes kaikenlaisille komposteille, vaaraa mahdollisten myrkyjen ja raskasmetallien joutumisesta elintarvikkeisiin tai rehuihin ei ole.

Kasvualustan kelvollisuus voidaan selvittää viljavuustutkimusten perusteella. Tutkimuksissa voidaan selvittää sekä kemiallisen että mekaanisen maa-analyysin arvot. Taulukossa 14 on annettu kemiallisen analyysin tavoitearvot.

Taulukko 13. Kompostin suuntaa- antavia käyttösuosituksia eri tarkoituksiin (Lilja ja Tahvanainen 1985)

Käyttökohde	käyttömäärä ⁴ t ka/ha	käyttötiheys	maa
maisemointi ¹	100...300	kerta-annos	Ruotsi
maisemointi	50...150	"	SLT
maisemointi	10...20	lisäys tarvittaessa	SLT
tieluiskat	n. 25	kerta-annos	Norja
maanrakennus ²	500 asti	"	SLT
metsitys	n. 100	"	Suomi
viherrakentaminen	100...300	"	Ruotsi
"	200...300	"	Norja
"	150...450	"	Suomi
kasvintuotanto	10 ³	10 a välein	Norja
kasvintuotanto	20 ³	"	Ruotsi
vilja	10...30	2...4 a välein	SLT
juurikasvit	20...50	"	SLT
rehunurmi	10...25	"	SLT
hedelmät ja marjat	50...100	3 a välein	SLT
avomaan vihannes	25...50	2...4 a välein	SLT
kasvihuoneviljely	5...10	"	SLT
koristekasvit	50...125	"	SLT

Huomautuksia

¹ mm. kaatopaikat, sorakuopat, metsäpaloalueet

² mm. jyrkät, karut rinteet, kaivosalueet

³ tai vastaava määrä lyhyemmin käyttövälein

⁴ määrät muunnettu tarvittaessa olettaen tilavuuspainoksi 600 kg/m³ ja kosteudeksi 50 %.

Taulukko 14. Kemiaallisen maa-analyysin ohjearvoja viherrakentamiseen käytetyille kasvualustalle (Suomen kunnallisteknillinen yhdistys 1983)

Kemiaallinen maa-analyysi (suluissa arvot isoja puita varten)

— humus (%)		
— istutukset	15 — 20	(6 — 10)
— nurmikot	10 — 20	
— urheilukenttänurmikko	3 — 6	
— johtoluku	2 — 5	(2 — 3)
— happamuus (pH)	6,0 — 6,5	(n. 6,0)
— kalkki (Ca), vaihtuva	2000 — 3000	(1500)
— kali (K), vaihtuva	200 — 350	(150 — 200)
— fosfori (P), helppoliukoinen	40 — 60	(20 — 30)
— magnesium (Mg), vaihtuva	200 — 350	(150 — 200)
— boori (B), vesiliukoinen	0,8 — 1,2	(0,5 — 1,0)
— kupari (Cu), happoliukoinen	8 — 15	(5 — 10)
— mangaani (Mn), vaihtuva	5 — 10	(5 — 10)
— typpi (N), nitraattityppi		
— istutukset	30 — 50	(20 — 30)
— nurmikot	50 — 60	

On huomattavaa, että jos johtoluku on suuri eivätkä tutkimustulokset selvitä sen syytä, on tutkittava myös rikin (S) ja kloorin (Cl) pitoisuus. Jos niitä on yhteensä yli 100 mg/l, voidaan pitoisuutta pitää kasveille haitallisena.

6.12 Käyttö kasvintuotannossa

Viherrakentamisessa kompostimullan kilpailukyky vaikuttaa hyvältä, mutta todella laajamittaisen kompostoinnin edellytys on käytön laajeneminen myös kasvintuotannossa.

Kasvintuotantoon käytettävän kompostin tulee olla laadultaan korkealaatuista. Tuotteen on oltava pitkälle stabiloitunutta ja hygieenisesti turvallista, ja sen ravinnetason on oltava riittävä ja monipuolinen.

Peltoviljelyssä kompostin käyttö on kannattavaa vähän elope- räistä ainetta sisältävillä hiekka-, hieta-, hiesu- ja savi- mailla, joilla sitä kannattaa käyttää riittävän suuria määriä. Taloudellisesti edullisin tulos saavutetaan kuitenkin silloin, kun kompostia käytetään hyvälle kasvumaalle yhdessä mineraalilannoitteiden kanssa (Koskela 1984a).

USA:ssa on lietekompostin käyttö peltoviljelyyn ollut vähäistä, vaikka lietteiden hyötykäyttö maanviljelyksessä on yleisesti hyväksyttyä ja laajalle levinnyttä. Syynä tähän on ollut kompostin korkea hinta ja typen vähäinen vapautuminen ensimmäisen kasvukauden aikana (EPA 1985).

Kompostin myyntiä ajatellen on korostettava, että käytännössä tilan ulkopuolisen eloperäisen maanparannusaineen käyttö peltoviljelyssä on nykyisin harvinaista. Intensiivisemmässä puutarhaviljelyssä sen sijaan pyritään optimaalisiin kasvuolosuhteisiin käyttämällä usein avomaallakin säännöllisesti eloperäisiä maanparannusaineita (Lilja ja Tahvanainen 1985).

Puutarhakäytössä kompostilla olisi periaatteessa houkuttelevimmat markkinat, koska kulutus on jatkuvaa ja viljelijät ovat jo nykyisin riippuvaisia ulkopuolisesta materiaalista. Lähinnä komposti voisi korvata osan kasvuturpeen käytöstä ja kattaa osan lannoitustarpeesta. Käytännössä kompostin kilpailukykyä heikentää se, että sen ominaisuudet on vaikea standardisoida samalla tarkkuudella kuin mm. kasvuturpeella (Lilja ja Tahvanainen 1985).

Taimikasvatuksessa humuksen kulutus on suuri, koska huomattava osa humuksesta kulkeutuu pois ns. paakkutaimien mukana. On kuitenkin epäilty, että paakkutaimien tuotannossa kompostia ei voitaisi käyttää, koska sen ominaisuudet voivat heikentää paakun koossapysymistä. Sen sijaan ruukkutaimien kasvualustaseokseen kompostia voidaan käyttää n. 20...35 til-% (Lilja ja Tahvanainen 1985).

6.2 Kompostin levittäminen

Komposti, kuten muutkin lannoitteet, tulisi pääsääntöisesti levittää keväällä ennen kasvien kylvöä tai istutusta. Komposti voidaan levittää heti lumen sulamisen jälkeen vielä roudassa olevaan maahan.

Savipitoisilla ja eloperäisillä maalajeilla joiden pidätyskyky on hyvä, voidaan komposti levittää myös syksyllä. Se olisi kuitenkin tehtävä mahdollisimman myöhään niin, että ravinteiden vapautuminen kompostista alkaisi pääasiassa vasta keväällä (Haukioja ym. 1983).

Hyvin pitkälle maatunut komposti pitäisi aina levittää keväällä, koska ravinteiden huuhtoutuminen siitä muuten on hyvin runsasta. Puolikypsää kompostia voidaan melko pienin ravinnehäviöin levittää myös syksyllä.

Levitettäessä komposti pitäisi saada jakautumaan maahan mahdollisimman tasaisesti. Sitä ei mullata kovin syvään, korkeintaan 10 cm:n syvyyteen. Komposti voidaan levittää myös multaamatta maan pintaan monivuotisten koristekasvien ja puutarhakasvien juureen (Haukioja ym. 1983).

7. KOMPOSTIN MARKKINOINTI

Tuotetun kompostin menekki aiemmin mainittuihin kohteisiin on paljolti riippuvaista paikallisista olosuhteista. Yleensä kompostin markkinointi on vaatinut runsaasti työtä (Lindfors et al. 1979 ; Flynn 1982), eikä onnistuminen aina ole var-
Esim. vuonna 1981 vietiin Ruotsissa 45 MKr maksaneen yhdyskuntajätteen kompostointilaitoksen koko tuotanto kaato-
paikalle peitteeksi (Lilja 1981).

USA:ssa on kompostointilaitosten markkinointi usein järjes-
tetty erillisten yhtiöiden kautta tai siten, että yksityinen
yhtiö/urakoitsija huolehtii sekä kompostoinnista että markki-
noinnista (NCASI 1984 ; Goldstein 1984). Markkinointi on
ollut varsin "agressiivista" käsittäen tavaramerkin, mainon-
taa, suoria yhteydenottoja, messuesittelyjä ym. (Lewis et
al. 1984 ; EPA 1985). Osa tuotteesta myydään säkitettynä
eri kauppaketjujen kautta.

Esimerkkinä kompostoinnin aloittamisesta ja markkinoinnin
järjestämisestä on USA:ssa toimiva Glatfelder Co, integroitu
sellu- ja paperitehdas, joka tuottaa päivittäin 30...50 t TS
yhdistettyä primääri- ja biolietettä.

Allaskapasiteetin loppuessa tehdas siirtyi kuivaamaan liet-
teet suotonauhalla, ja samalla kompostoinnin soveltuvuutta
kokeiltiin neljässä aumassa. Tulokset olivat niin lupaavia,
että v. 1979 toimintansa aloitti pilot- laitteisto, joka
kompostoi 15 % laitoksen lietteistä yhdessä puunkuoren kans-
sa. Saatu tuote oli tehtyjen tutkimusten mukaan hyvä-
laatuista ja sopivaa eri kohteisiin ja sen menekki ylitti
tuoton. Vuonna 1980 laitosta laajennettiin ja v. 1983 teh-
das kompostoi jo 60...70 % lietteistään ja tarkoituksena oli
päästä kaikkien lietteiden kompostointiin.

Käytetystä lietteestä on ollut orgaanista ainetta 60 % ja
tuhkaa 40 % , tuotteen pH on ollut 6.8...7.2. Kompostoit-
minen koneellisesti ilmastetuissa aumoissa on kestänyt noin
kolme viikkoa ja kypsytyks 4...6 viikkoa (Smyser 1982 ; Carter
1983).

Metsäteollisuuden lietekompostien markkinoinnin mahdollisuuksia ja ongelmia Suomessa kuvannee parhaiten Metsäliiton
teollisuus OY:n Kirkniemen tehdas, joka ainoana suomalaisena
alan laitoksena on kompostoinut lietteitään laajassa mitta-
kaavassa. Laitos kompostoi vuosina 1969-75 kuitulietettä ja
kuorta aumoissa suhteessa 1:1. 6...12 kk:n kompostoitumisen
jälkeen tuote markkinoitiin pääasiassa Helsingin seudun
viherrakentamiseen ja paikallisille hedelmänviljelijöille.
Tuotteen menekki kuitenkin väheni, kun kunnat alkoivat kom-
postoida omia lietteitään ja tehdas siirtyi varastoimaan
lietteensä (Lindholm 1986).

8. KOMPOSTOINNIN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Jätehuoltoasetuksen (307/79) 7-10 §:ien mukaan on kompostointilaitos suunniteltava, rakennettava ja hoidettava siten, ettei siitä aiheudu häiritsevää hajuhaittaa tai muuta siihen rinnastettavaa haittaa ympäristölle. Lisäksi tällaisten laitosten käyttöä, hoitoa ja valvontaa varten on aina määrättävä vastaava hoitaja.

Sisäasiainministeriön jätteiden käsittelyä koskevien ohjeiden (1982) mukaan kompostointilaitos tulisi sijoittaa teollisuus-alueelle tai siihen rinnastettavalle alueelle taikka kaatopaikan yhteyteen.

Kompostointilaitoksen suunnittelussa, perustamisessa, käytössä ja valvonnassa olisi kiinnitettävä huomiota mm.:

- kompostoitavan jätteen lajitteluun ja esikäsittelyyn
- hajuhaittojen ennalta ehkäisemiseen ja poistamiseen
- pohja- ja pintavesien suojeluun
- laitoksen ja sen ympäristön siisteyteen
- hoitoon ja tarkkailun järjestämiseen

Yleisin ympäristölle aiheutunut haitta kompostointilaitoksilta on ollut vastenmielinen haju (Hovsenius 1984), joka osittain riippuu valitusta kompostointimenetelmästä ja seosaineista. Aumakompostoinnissa esiintyvien hajujen eliminomiseksi kehitettiin aumojen koneellinen ilmastus, jossa riittävä happipitoisuus ja imuilman suodatusmahdollisuus vähentävät hajujen muodostusta (Epstein et al. 1976).

Tavallisessa ja puhaltamalla ilmastetussa aumakompostoinnissa voidaan hajuja vähentää käyttämällä kypsää kompostia aumojen katteena (Viitasalo 1983 ; Van der Hoek and Oosthoek 1984).

Ruotsissa on havaittu (Heinemo och Brink 1978) valumavesien yhdyskuntajätekompostista olevan noin 40...60 % sadannasta. Valuma- ja suotovesissä on merkittävimpana tekijänä pääasiassa nitraattimuodossa oleva typpi. Pinta- ja pohjavesien saastuminen on estettävissä järjestämällä valumavesien keräily ja käsittely; ihanneratkaisussa ne johdetaan jätevedenpuhdistamolle. Kompostointikentän on oltava pinnaltaan riittävän kova, mieluiten asfalttia tai betonia (Epstein et al. 1983).

Pölyongelmia saattaa ilmetä murskauksessa sekä kompostin käännössä ja siirroissa. Ruotsalaisilla lietteen kompostointilaitoksilla nämä haitat eivät kuitenkaan ole olleet merkittäviä (Lindfors et al. 1979). Kuivalla säällä, jolloin pölyhaittoja ilmenee, niitä voidaan vähentää suihkuttamalla vettä alueelle. Työntekijöiden tulisi käyttää tarvittaessa hengityssuojaimia ja koneiden hyttien tulisi olla riittävän hyvin suojatut pölyltä (EPA 1980).

Oman terveysriskinsä aiheuttaa jo aiemmin mainittu Aspergillus fumigatus, joka vaikutus jää lähinnä siihen, ettei ko. homeelle jo aiemmin muualla altistuneita tai astmaattisia henkilöitä voida työllistää laitoksella. Kompostin sekoituksen ja käännön aikana mitatut Aspergillus- pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin syntyy, kun pöyhittää mätänevää puunlehtikasaa (EPA 1984).

Kompostointialueella työskenteleville tulisi varata hyvät suojavaatteet vaihto- ja puhdistuspalveluineen sekä peseytymistilat. Tetanus- ja poliorokotteiden tulee olla voimassa (Viitasalo 1983).

8.1 Kompostointilaitoksia koskevat säännökset ja määräykset

Kompostointia koskevia säännöksiä, määräyksiä ja ohjeita on useissa laeissa, asetuksissa sekä viranomaisien päätöksissä, määräyksissä ja ohjeissa (Aarnio 1984).

Tärkeimmät jätehuoltolainsäädäntöön liittyvät säädökset sisältyvät kohdassa 8 mainittuihin jätehuoltoasetuksen 307/79 7 - 10 §:iin.

Terveystieteiden laitoksen (55/67, muutettu 308/79) 76 §:n 2 momentin mukaan kaatopaikkaa tai muuta jätteen käsittelypaikkaa ja -laitosta on hoidettava niin, ettei siitä aiheudu terveydellistä haittaa (Aarnio 1984).

Terveystieteiden laitoksen 17 §:n 38 kohdan mukaan jätteen käsittelylaitos, siis myös kompostointilaitos, kuuluu niiden laitosten ryhmään, joiden sijoittamiseen on hankittava terveydenhoitolain 26 §:n edellyttämä sijoituslupa. Sijoitusluvan yhteyteen voi terveyslautakunta asettaa terveydellisen haitan ehkäisemiseksi tarvittavia ehtoja (Aarnio 1984).

Vesien suojeleminen koskevista ennakkotoimenpiteistä annetun asetuksen (283/62) 3 §:ssä on lueteltu laitokset, joista vähintään kolme kuukautta ennen niiden rakentamisen aloittamista on tehtävä ilmoitus vesipiirin vesitoimistolle. Vuonna 1979 tehdyllä asetuksen muutoksella (309/79) lisättiin luetteloon myös kaatopaikat ja jätteen käsittelylaitokset. Siten esimerkiksi kompostointilaitoksesta on tehtävä ennakkotoimenpideasetuksen edellyttämä ilmoitus (Aarnio 1984).

Kompostituotteet ovat maanparannusaineina yleensä hakemuksista saatavissa liikevaihtoverottomiksi, kun niitä myydään massatavarana suoraan alkutuottajalta kuluttajalle (Paatero ym. 1984).

9. KUSTANNUKSET JA KANNATTAVUUS

9.1 Kompostoinnin kustannukset

Lietteen kompostoinnin kannattavuus riippuu ratkaisevasti paikallisista tekijöistä: tukiaineen hinnasta, vaihtoehtoisen lietteenkäsittelymuodon kustannuksista ja valmiin tuotteen menekistä ja siitä saatavasta hinnasta.

Kompostia kasvualustana käytettäessä sitä voidaan verrata lähinnä ruokamultaan, jonka hinnasta ja saatavuudesta riippuu myös kompostista mahdollisesti saatava korvaus. Paikkakunnasta ja laadusta riippuen maksaa multa nykyään 15 - 40 mk/m³ ilman kuljetusta (Saari ym. 1985). Helsingin seudulla multan hinta on 40 - 50 mk/m³ (Hiltunen 1985). Joensuun seudulla oli v. 1982 eloperäisten maanparannusaineiden hintataso 23...43 mk/m³ (v. 1985 hintatasossa) (Lilja ja Tahvanainen 1985).

Koska taloudellisesti kannattava kompostointi edellyttää lietteen kuivausta, ei kompostointi tältä osin vähennä metsäteollisuuden jätevesilietteiden käsittelykustannuksia, jotka suurelta osin muodostuvat koneellisen kuivauksen ja siihen liittyvän polymeerilisäyksen aiheuttamista kustannuksista. Kompostoinnille vaihtoehtoisina loppusijoitusmuotoina tulevat kysymykseen ajo kaatopaikalle ja poltto. Näiden vaihtoehtojen kustannukset tulee ottaa huomioon, kun harkitaan lietteen kompostoinnin kannattavuutta.

Seuraavassa tarkastellaan pohjoismaisissa olosuhteissa tapahtuvan lietteen kompostoinnin kustannuksia tapausesimerkkien avulla:

1. Helsingissä kompostoitiin vuonna 1981 jätevesilietetä 6700 m³ yhdessä kuoren kanssa. Valmista tuotetta saatiin 19400 m³ ja tuotantokustannukset olivat vuoden 1985 hintatasoon muutettuina n. 43 mk/m³ (mukana ovat materiaali-, kone- ja palkkakustannukset, mutta ei tontti- ja alueen perustamiskustannuksia). Kompostoituminen tapahtui aumoissa 8...12 kuukaudessa (Viitasalo 1983). On syytä huomauttaa, että kustannuksissa on mukana hiekka, josta aiheutuneet menot lienevät luokkaa 5 - 6 mk/m³.
2. Riihimäen kaupungin jätevedenpuhdistamolla on syntynyt liete kompostoitu aumoissa yhdessä puunkuoren, turpeen ja hiekan kanssa. Kompostimultaa on tuotettu vuosittain n. 7500 m³ ja kustannukset palkkamenoineen ovat olleet 42.40 mk/m³ (vuoden 1985 hintatasossa). Materiaalikustannuksista noin kolmanneksen on aiheuttanut kasvuturpeen käyttö tukiaineena. Multaa on vuosittain myyty noin 4500 m³, josta suurin osa on mennyt kaupungin omaan viherrakentamiseen ja vain osa maanviljelykseen. Myynnistä saadut tulot eivät ole peittäneet tuotantokustannuksia, koska kaikkea multaa ei ole saatu myydyksi. Kompostimullan hinta kuormattuna on ollut 41.90 mk/m³ ja kuljetuksen keskimäärin 10.60 mk/m³ (Sandelin 1985).

3. Turussa tehdyssä kompostointikokeilussa (Paatero 1978) havaittiin, että prosessin taloudellisuus on suuresti riippuvainen laitteiston kapasiteetista sekä raaka- aineiden kuljetuskustannuksista. Sen sijaan laitteiston investointikustannus ei ratkaisevasti vaikuta tuotantoprosessin taloudellisuuteen. Turun olosuhteissa kokeiluprosessin kustannuslaskelma osoitti, että tuotteen myyntihinnaksi muodostui noin 45 - 53 mk/m³ (vuoden 1985 hintatasossa). Tämä olisi edellyttänyt noin 25 m³/h laitekapasiteettia.

Kokeilussa kompostoitiin jätevesilietettä ja kuorta aumoissa, jotka tehtiin tähän tarkoitukseen Suomessa suunnitellulla laitteella.

4. Erään maaseutukunnan jätehuoltoa suunniteltaessa on kuorilietekompostin valmistamisen aumoissa laskettu maksavan 21 mk/m³. Turve- lietekompostin on vastaavasti laskettu maksavan 42 mk/m³ (Saari ym. 1985).
5. Ruotsissa 1979 tehdyssä selvityksessä (Lindfors et al. 1979) on eritelty sikäläisten lietteen kompostointilaitosten kustannusten jakautumista. Taulukossa 15 on esitetty eri laitojen kustannukset/m³ kompostia.

Taulukko 15. Kustannukset mk/m³ kompostia ruotsalaisilla lietteenkompostointilaitoksilla (v. 1985 hintataso) (Lindfors et al. 1979)

laitos	tyyppi	kustannus mk/m ³	kapasiteetti m ³ /a	kompostia tuotettu m ³
Malmö	auma,ilmastus kääntämällä	112	100 000	55 707
Hyltebruk*	"	173	40 000	9 327
Göteborg	"	106	50 000	27 480
Fagersta	Kneer/Biav- reaktori	241	6 850	3 132
Avesta	INKA-reaktori	373	6 000	2 070

* laitos kompostoi sellulietettä kuoren kanssa

Laitosten kustannusten jakautumisesta on tarkempi erittely liitteessä 1. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että aumakompostointiakin harjoittavat laitokset ovat pitkälle koneellistettuja ja varustettu mm. seuloilla. Malmön, Göteborgin ja Avestan laitoksilla on käytössä myös murskaimet. Runsas tekninen varustus lisää kompostoinnin kustannuksia.

Taulukko 16. Laitosten kustannukset siten, että rahti-, laboratorio- ja materiaalimenot ei ole huomioitu ja muut kustannukset on laskettu kapasiteettikuutiometriä kohti

	Malmö	Hyltebruk	Göteborg	Fagersta	Avesta
Mk/m ³	30.3	25.7	18.9	94.0	126.3

Lisäksi on huomattava, että laitokset ovat toimineet huomattavan alhaisella käyttöasteella, mikä lisää pääomakustannusten osuutta. Kompostin myynnistä saatuja tuloja ei ole huomioitu tuotantokustannuksia laskettaessa.

Liitteessä 2 on esitetty joitakin arvioita lieteseosten valmistuskustannuksista eri työkoneita käytettäessä.

9.2 Seulonnan kustannukset

Seulonnan kustannusvertailua eri seuloilla ovat suorittaneet Higgins et al. (1981). Tulokset on koonnut yhteen Lilja (1982) (taulukko 17), (kustannukset vuoden 1985 hintatasossa). Kyseessä on hake- lietekompostin seulonta, mutta tulokset lienevät sovellettavissa myös kuori- lietekompostin seulontaan.

Taulukko 17. Erilaisten seulojen kustannusvertailu kompostin seulonnassa

seulatyyppe	kapasiteetti m ³ /h	1) investointi mk	2) kokonaiskust. mk/m ³ kompostia
1-tasoinen täryseula (van Dale)	6	780 400	38.4
5-tasoinen täryseula (Royer)	27	986 000	12.0
täry+lankaseula (Power Screen)	30.0	871 100	10.3
rumpuseula (Royer)	40.8	1 314 300	9.8
liikkuva seulakangas (Liwell)	62.9	1 617 300	8.6

1): investointi kattaa seulontalaitteiston, syöttötaskun, syöttö- ja ulossyöttökuljettimet asennuksineen

2): kustannukset kattavat pääomakustannukset sekä seulonnan käyttökustannukset mukaan lukien etukuormajalla tapahtuvan lastauksen syöttötaskuun.

10. LIETTEEN LOPPUSIJOITUSMENETELMIEN VERTAILUA

10.1 Yleistä

Vuonna 1983 metsäteollisuuden jätevesilietteiden käyttö- ja loppusijoitustavat olivat seuraavat (Jäppinen 1986):

- palautus prosessiin	45 000 t/a	(16 %)
- liete polttoon	70 000 t/a	(26 %)
- liete kaatopaikoille	140 000 t/a	(51 %)
- muu käyttö	20 000 t/a	(7 %)

yhteensä	275 000 t/a	(100 %)

Noin puolet talteen otetusta lietekuiva- aineesta oli v. 1983 hyötykäytössä. Nykyisin polttoon menevän lietteen kokonaismäärä lienee jo noin 90 000 t/a, koska v. 1983 jälkeen lietteenkäsittelyä on tehostettu eräillä tehtailla. Lietteiden palautus prosessiin ja lietteiden poltto ovat täten käyttömuodoista merkittävimmät. Kattegoria "muu käyttö" sisältää myyntiin menevät kuitulietteet ja lietteiden käytön täyttemaana (Jäppinen 1986).

10.2 Lietteen kuljetus kaatopaikoille

Noin 45 % lietteistä ajetaan vielä nykyisin kaatopaikoille. Vuonna 1984 oli teollisuuden käytössä yhteensä 91 omaa kaatopaikkaa, mutta sen lisäksi vietiin teollisuusjätettä yhdyskuntien 430 kaatopaikalle. Missä määrin teollisuusjätteet olivat metsäteollisuuden lietettä, ei ole tiedossa (Puolanne 1986).

Varsinaisten kaatopaikkojen ohella teollisuuskiinteistöillä on usein omia varasto- tai läjitysalueita, jotka jäävät käsitteen "kaatopaikka" ulkopuolelle.

Yleisenä ongelmana lietteiden sijoittamiselle kaatopaikoille voidaan pitää sitä, että ne suurina määrinä vähentävät kaatopaikan täyttötilavuutta ja käyttöaikaa. Kun tiedetään, miten vaikeaa uusien kaatopaikkojen perustaminen on, olisi kiinnitettävä erityistä huomiota toimenpiteisiin, joilla kaatopaikoille joutuvia jätettä voidaan vähentää. On selvää että kiristytvä valvonta ja lainsäädäntö tulevat aikanaan kohottamaan kaatopaikkavaihtoehtojen kustannuksia, ja tämä tulee kohentamaan vaihtoehtojen lietteen poistotapojen kannattavuutta.

10.3 Poltto

Lietteiden kuivaus- ja polttoteknologian nopea kehitys ja tähän saakka korkeat energiakustannukset ovat johtaneet siihen, että mahdollisimman suuri osa varsinaisen hyötykäytön ulkopuolelle jäävästä liettemäärästä poltetaan. Tosin on mainittava, että lietteen poltossa on lähes aina kysymys hävit-

tämisestä. Vain harvoissa tapauksissa päästään lämmöntuotannon kannalta riittäviin kuiva- ainepitoisuuksiin (Lehtonen 1986).

Kaatopaikoille nykyisin ajettava liete lienee pääasiassa korkean tuhkapitoisuuden omaavaa sekalietettä, jota ei kannata polttaa. Primäärilietteistä huonoimmin polttoon soveltuvat ovat peräisin päällystettyjä ja täyteainepitoisia paperi- ja kartonkilaatuja valmistavilta tehtailta. Näiden lietteiden määrän on arvioitu olevan 1990- luvun lopulla noin 80 000 t/a (Jäppinen 1986). Näille lietteille olisi löydettävä vaihtoehtoisia hyötykäyttömuotoja.

Perinteisillä tiivistys- ja vedenpoistomenetelmillä on kokemusten mukaan mahdollista käsitellä, lopputuloksen olennaisesti huonontumatta, seoslietettä, jossa bio- ja kemiallisten lietteiden osuus on enintään noin 30 % (Jäppinen 1986). Lisääntyvästä biolietemäärästä voidaan näin osa kuivata primäärilietteen kanssa ja polttaa. Osa biolietteestä tulee kuitenkin jäämään polton ulkopuolelle, ja tämä olisi hävitettävä mahdollisimman taloudellisesti ja vähin haittavai- kutuksin.

10.4 Palautus prosessiin ja muu hyötykäyttö

Puuraaka- aineen niukkuus ja sen korkea hinta ovat joh- taneet siihen, että prosessiin palautettavaksi kelpaava kuitu käytetään jo nyt tarkkaan hyväksi. Tästä syystä ei ole to- dennäköistä, että tältä osin tapahtuisi merkittävää kehitystä tulevaisuudessa. Nykyiseen käytäntöön perustuen voidaankin olettaa, että prosessiin palautettavan lietteen määrä tulee olemaan enintään n. 20 % primäärilietteen kokonaismäärästä (Jäppinen 1986).

Kuitulietettä menee jossain määrin myös myyntiin esim. hyl- syjen ja pakkausmateriaalien valmistukseen. On kuitenkin epätodennäköistä, että nykyisten käyttömuotojen suhteelli- nen osuus kasvaisi merkittävästi. Täten voidaan karkeasti arvioida, että myyntiin menisi tulevaisuudessa enintään noin 10 % primäärilietteistä (Jäppinen 1986).

Varsinainen hyötykäyttö on tietysti toivottavin lietteiden loppusijoitustapa, ja mikäli siihen on (taloudellisia) mah- dollisuuksia, tulisi sen syrjäyttää muita lietteen hävitys- tapoja. Lietteiden hyötykäyttöä on tutkittu melko laajasti ja seuraavassa on luettelonomaisesti eri vaihtoehtoja. Jotkut näistä ovat tosin vielä varsin teoreettisia.

Kuitulietteet (ETY 1983):

- käyttö maanparannusaineena
- kompostointi
- kuitulevyjen valmistus
- tiilien valmistus
- rehun valmistus

- muovien ja liimojen täyteaineena
- fermentointi rehuksi ja metaaniksi
- kuivikkeeksi nurmirehun säilönnässä
- ksylitolin valmistus

Biolietteet (Jäppinen 1986):

- rehun valmistus
- lisäys kartongin valmistukseen
- lisäys kuitulevyn valmistukseen
- lannoitteen valmistus
- maanparannuskäyttö
- kompostointi

10.5 Kompostointi

Kompostointi lietteen loppusijoitusmuotona ei metsäteollisuudessa ole Suomessa saavuttanut suosiota. Syynä tähän on ilmeisesti ollut tuotteen vähäinen kysyntä ja markkinoinnin työläys. Kompostoinnin kannattavuuden ehdottomana edellytyksenä onkin tuotteen myynnin onnistuminen, ja mikäli sitä aiotaan laajemmassa mitassa harjoittaa on, markkinointiin panostettava runsaasti työtä.

Kompostointi ei lietteen loppusijoitusmuotona varsinaisesti kilpaile muiden hyötykäyttömuotojen kanssa, vaan se on lähinnä vaihtoehto lietteen kaatopaikalle kuljetukselle. Koska prosessi on varsin varmatoiminen, sopii se hyvin erilaisille lietteille, joille muun hävitystavan löytäminen on vaikeaa. Etenkin biolietteille, joiden kaikkien poltto ei ole mahdollista, kompostoiminen olisi järkevää niiden suuren ravinnepitoisuuden vuoksi.

Ympäristövaikutuksiltaan on kompostointi haitattomampi lietteen sijoitusvaihtoehto kuin kaatopaikalle kuljettaminen. Polttoon vertaaminen ei sen sijaan ole kovin yksinkertaista, mutta on todettava, että lietteissä olevat ja poltossa syntyvät ympäristölle haitalliset aineet leviävät savukaasujen mukana rajoittamattomasti. Kompostia sen sijaan voidaan käyttää sellaisiin kohteisiin, joissa siinä mahdollisesti olevista haitta- aineista ei ole vaaraa.

11. KOMPOSTOINNIN TUTKIMINEN

11.1 Yleistä

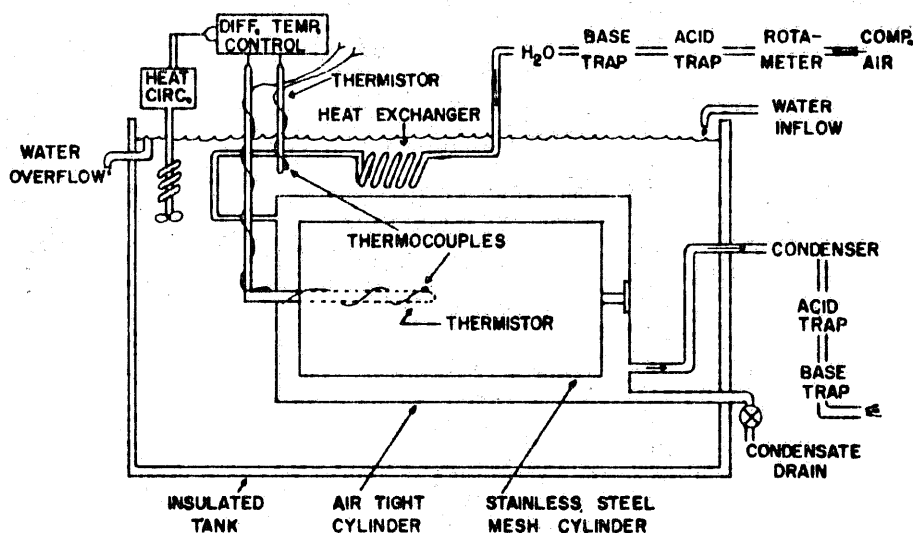
Tässä selvityksessä on käsitelty kompostointia ja sen eri osa-alueita pelkästään kirjallisuustutkimuksen muodossa, koska mahdollisuutta pilot- mittakaavaiseen kokeeseen ei ollut. Kompostoinnin tutkiminen laboratoriomittakaavassa olisi taas vaatinut suurehkoa panostusta laitteistoihin, koska prosessin seuranta ja prosessille sopivien olosuhteiden luominen pienessä mittakaavassa aiheuttaa omat ongelmansa.

Seuraavassa on esitetty joitakin laboratoriotutkimuksiin liittyviä näkökohtia ja ehdotuksia mahdollisten jatkotutkimusten järjestämiseksi.

11.2 Tutkimukset laboratoriomittakaavassa.

On selvää, että laboratoriomittakaavassa kompostoinnista tehty tutkimustyö on paljolti perustutkimusta. Kompostointiprosessia tapahtumana ja siihen vaikuttavia tekijöitä on selvitetty varsin laajasti, joten metsäteollisuuden lietteiden kompostointi on enemmän käytännön ongelma. Tämän ongelman ratkaisemiseksi ei laboratoriomittakaavassa tehty kokeellinen tutkimus ole välttämättä paras tapa.

Seuraavassa on kuitenkin esitetty esimerkkinä eräs monista laitteistoista, joita on käytetty kompostoinnin tutkimisessa.



Kuva 21. Laboratoriomittakaavainen laitteisto kompostoinnin tutkimiseksi, kaavakuva (Sikora et al. 1983)

Kuvassa 21 on esitetty laitteisto, jossa kompostoitava massa on verkosta valmistetussa sylinterissä, joka taas on vesihauteeseen upotetussa vesitiiviissä astiassa. Vesihauteen lämpötilaa on säädetty siten, että sitä on pidetty noin 0,5 ... 0,8 C alhaisempana kuin kompostoitavan massan lämpötila. Näin on päästy siihen, että prosessi on itselämpenevä, mutta lämpöä ei siirry seoksen ulkopuolelle niin paljoa, että prosessi häiriintyisi. Joissakin vastaavissa laitteistoissa lämpötilan kontrollointi on ratkaistu siten, että vesihauteen lämpötila pysyy ennalta asetetussa arvossa ja pitää tutkittavan seoksen lämpötilan näin lähes samana.

Tutkittavaan seokseen paineella johdettava ilma lämmitetään vesihauteen lämpötilaan, kostutetaan ja siitä poistetaan hiilidioksidi ja ammoniakki. Seoksen läpi virranneesta ilmasta on mitattu kosteus-, NH_3 - ja CO_2 -pitoisuudet. Tuloksena on saatu tietoja orgaanisen aineen hajoamisesta lämpötilan funktiona ja prosessin typpitaloudesta.

Kuten edellä esitetystä ilmenee, on laboratoriomittakaavaisen laitteiston suurimpana ongelmana lämpötilan säätö seoksessa. Tutkittavan massan ollessa pieni joudutaan seoksen lämpötilaa ylläpitämään ulkopuolisella lämmönlähteellä. Jos halutaan tehdä laitteisto, jossa ulkopuolista lämmönlähdettä ja siihen liittyvää lämpötilan säätöä ei tarvittaisi, olisi seoksen massan oltava riittävä, jotta sen lämpötila kohoaisi itsestään, eikä ratkaisevasti poikkeaisi luonnon olosuhteissa vallitsevasta. Riittävä massa riippuu tietenkin lämmöneristyksestä, mutta joka tapauksessa se on suurehko. Tällaisen laitteiston rakentaminen sisätiloihin ei taas ole järkevää, koska on helpompaa ja halvempaa tehdä ulos muutaman kuution aumakomposteja, joissa voidaan tarkkailla myös ilmast- olosuhteiden vaikutusta prosessiin ja saadaa tuntumaa myös täyden mittakaavan ongelmiin.

11.3 Tutkimuksen tekniset järjestelyt

Kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan todeta aumakompostoinnin olevan se kompostoinnin muoto, joka tulisi kyseenalaiseksi metsäteollisuuslietteille laajemmassa mitassa, ja näin se olisi myös jatkotutkimusten kohde.

Erilaisina aumaratkaisuvina voisivat toimia esim. noin 10 m³:n kasat, jotka ilmastettaisiin kääntämällä traktorilla tai kauhakuormajalla. Eri yhteyksissä on esitetty toiveita aumakompostointimenetelmien kehittämiseksi ja mekanisoinniksi. Tähän liittyen olisi mahdollista kokeilla myös vastaavien aumojen ilmastamista käyttäen keskipakopuhaltimia ja rei- itettyä muovista salaojaputkea.

Seosaineena olisi puunkuori ja mahdollisesti osaksi joku paikallisesti saatavilla oleva jäte.

Kompostointitavan lisäksi ongelmallinen kysymys on lietteen ja tukiaineen sekoitus. Sekoituksessa voitaisiin käyttää vaihtoehtoisesti kauhakuormaajaa, karjanlannanlevitintä tai ruuvisekoitinta.

Useita aumoja rakentamalla ja eri osatekijöitä muuttamalla voitaisiin saada selville seuraavia seikkoja:

- mahdollisuudet erilaisiin teknisiin toteutusvaihtoehtoihin
- tukiaineen ja lietteen optimaalinen suhde eri vaihtoehtoisissa
- kääntöjen määrä ja sen vaikutus kompostoitumisaikaan ja tuotteen laatuun
- kompostoitumisaika
- lopputuotteen laatu ja sen homogeenisuus
- eri vaihtoehtoisissa tarvittava työmäärä ja niiden kustannukset
- eri vaihtoehtojen vaatima tila ja kalusto
- koneellisesti ilmastetun vaihtoehdon osalta sen toimivuus ja kilpailukyky yleensä ja ilmamäärän vaikutus prosessiin

11.4 Prosessin seuranta ja tarvittavat analyysit

Prosessin edistymistä olisi seurattava säännöllisesti mittamalla lämpötilat aluksi päivittäin ja myöhemmin esim. kerran viikossa. Prosessin seurantaan liittyviä analyysejä olisivat hiili/typpi- suhteen määrittäminen ja auman happipitoisuuden mittaaminen kompostoitumisen aikana. C/N- suhde olisi määritettävä seoksesta alussa, valmiista kompostista ja joitakin kertoja prosessin aikana. Happipitoisuuden mittaus voitaisiin tehdä tarkoitukseen sopivalla mittarilla lämpötilan mittauksen yhteydessä esim. kerran viikossa.

Muita prosessin aikana mahdollisesti suoritettavia analyysejä olisivat pH, kosteuspitoisuus, hehkutushäviö ja typpitalouden selvittämiseksi otettavat ammonium- ja nitraattityppipitoisuudet.

Muut tarvittavat analyysit liittyisivät tuotteen laatuun ja kompostoinnin ympäristövaikutuksiin ja ne olisivat esim:

- lietteen, tukiaineen ja kompostin ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet
- mahdollisten myrkyllisten aineiden (esim. PCB, kloorifenolit ym.) pitoisuudet lietteessä ja havaittujen aineiden pitoisuudet myös valmiissa kompostissa.
- ehkä jotkut bakteerimääritykset
- vesianalyysit kompostointialueelta valuvasta vedestä

11.5 Ehdotus tutkimussuunnitelmaksi

Seuraavassa on esitetty lyhyesti konkreettinen ehdotus tutkimussuunnitelmaksi. Ehdotus on laadittu siten, että se on toteutettavissa kohtuullisin resurssein ja se tähtää toteuttamiskelpoiseen täyden mittakaavan ratkaisuun.

Tekninen toteutus:

- 12 kappaletta noin 10 m³:n aumoja, jotka olisi jaettu neljään kolmen auman ryhmään siten, että yksi ryhmä olisi ilmastettu koneellisesti ja kolme kääntämällä siten, että ensimmäinen käännettäisiin kerran, toinen viisi ja kolmas kymmenen kertaa koko aikana. Tukiaineena olisi kuori ja joka ryhmässä kuorilietesuhde olisi ensimmäisessä aumassa 1:1, toisessa 1,5:1 ja kolmannessa 2:1. Käännöt ja sekoitus suoritettaisiin kauhakuormajalla. Koneellisesti ilmastetuissa aumoissa seokseen puhallettava ilmamäärä olisi ohjattavissa termostaatilla siten, että korkeimmilta lämpötiloilta aumoissa vältyttäisiin.

Analyysit:

Tarvittavat:

- lämpötila
- C/N- suhde
- pH
- happipitoisuus
- ravinnepitoisuudet
- raskasmetallipitoisuudet
- vesianalyysit valumavesistä

Toivottavat:

- erilaiset myrkyt tai haitta- aineet
- jotkut bakteerimääritykset
- nitraatti- ja ammoniumtyppi

Kustannukset:

Kustannusten arviointi on varsin vaikeata, koska kompostoituminen kestää kauan, mutta tapahtuu kyllä ilman valvontaa, eikä vaadi työvoimaa enempää kuin näytteiden otto vaatii. Tutkimuksen teko olisi näin tavallaan puolipäiväistä, eli soveltuisi jonkin muun työn oheen. Liete ja kuori voidaan olettaa ilmaisiksi, ja kauhakuormajan tarve olisi varsin vähäinen ja sen käyttö tulisi halvaksi, mikäli sellainen olisi lähistöllä muissa töissä. Varsinaiset investoinnit rajoittuisivat keskipakopuhaltimiin ja niiden ohjaukseen tarvittavaan laitteistoon, sekä happimittariin.

Palkkakustannusten lisäksi menoja olisi enemmän lähinnä eri analyyseistä. Näiden kustannukset riippuvat siitä, mitä analyysejä tehdään, sekä siitä, teetetäänkö kaikki ulkopuolisilla vai onko käytössä omaa laboratoriokapasiteettia.

Aikaa tutkimukselle olisi varattava vajaa vuosi, koska aumakompostointi hitaimmillaan vaatii runsaasti aikaa.

Tulokset:

Tutkimuksen tuloksena saataisiin selville lähinnä käytännön toteutukseen liittyviä seikkoja: tekninen toteutus, liete-kuorisuhde, tuotteen laatu, ympäristöhaitat (esim. hajut), tarvittava aika ja tila sekä osittain kustannukset.

12 YHTEENVETO

Puunjalostusteollisuuden jätevesilietteistä valmistettujen kompostituotteiden voidaan tämänhetkisen tietämyksen valossa katsoa olevan hyvälaatuisia. Näiden kompostien ravinnepi-toisuudet jäävät pienemmiksi kuin kunnallisista lietteistä tehtyjen, mutta pienemmiksi jäävät myös raskasmetallien pi-toisuudet ja erilaisten rikkakasvien siementen ja patogeenien määrät.

Raskasmetallien haittavaikutukset on jo melko hyvin selvitet-ty ja annettujen rajoitusten voidaan katsoa ehkäisevän niiden epätoivotut vaikutukset maaperässä. Suurempaa huolta sensi-jaan aiheuttavat sekä kunnallisissa, että metsäteollisuuden lietteissä olevat myrkylliset yhdisteet, joiden pitkäaikais-vaikutuksia maaperässä ja vesistöissä ei tunneta.

Metsäteollisuuden jätevesilietteistä valmistettujen komposti-tuotteiden käyttökohteina kyseeseen tulisivat lähinnä viher-ja maanrakennushankkeet, joissa tarvittavat multamäärät ovat suuria, sekä myös muut kohteet, joissa yleensä turve- tai kompostituotteita käytetään.

Pitkälle kehitettyjen kompostointilaitosten (reaktorien) run-saslukuisuus USA:ssa ja Keski- Euroopassa johtuu paljolti siitä, että jätevedenpuhdistamot ovat jääneet laajenevien kaupunkien ympäröimiksi. Kompostoinnille ei näinollen ole suuria maa- alueita ja ympäristön laitoksille asettamat vaa-timukset ovat suuret. Ruotsissa taas valtio on voimakkaasti tukenut investointeja näihin laitoksiin. Suomessa tilanpuute harvoin asettanee vaatimuksia kompostointisysteemille, eikä ainakaan metsäteollisuuslietteiden kompostoinnista ole odo-tettavissa sellaisia ympäristöhaittoja, jotka edellyttäisivät teknisesti kehittyneempiä laitoksia. Näinollen soveltuvien kompostointimenetelmä Suomessa on kääntämällä ilmastettu aumakompostointi. Myös koneellisesti ilmastetut aumat saat-taisivat joissakin tapauksissa tulla kyseeseen.

Mikäli kompostoinnille on varattuna maa- alue ilman eri kus-tannuksia ja se tapahtuu aumoissa (kääntö 1 - 3 kertaa) eikä tuotetta seulota, lienee Helsingissä ja Riihimäellä saatu kompostimullan hinta (42 -43 mk/m³) realistinen. Alueilla, joilla mullasta on pulaa, on sen hinta samaa suuruusluokkaa. Kun otetaan huomioon vaihtoehtoisten lietteen poistomene-telmien kustannukset, saattaa kompostointi osoittautua kannattavaksi lietteen käsittelymenetelmäksi. Kannattavuuden ehdottomana edellytyksenä on tosin tuotetun kompostin myynnin onnistuminen. Metsäteollisuuslietteiden kompostoinnin kan-nattavuutta saattaa myös parantaa mahdollisuus saada tukiai-neeksi parhaiten soveltuva puun kuori edullisesti ilman mer-kittäviä kuljetuskustannuksia.

On tosin huomautettava, että metsäteollisuuden isojen yksiköiden tuottamat lietemäärät ovat niin suuria, että niistä tuotetun kaiken kompostimullan markkinointi olisi vaikea tehtävä. Näin etenkin kun laitokset yleensä sijaitsevat syrjässä suurista asutuskeskuksista, joiden viherrakentamiseen kompostimulta parhaiten soveltuisi. Myös aumakompostoinnin suuri tilantarve saattaa aiheuttaa ongelmia.

Kannattavinta olisi kompostoida aktiivilietepuhdistamoilta tulevaa biolietettä, joka sisältää eniten ravinteita ja jonka kuivaaminen on vaikeata. Kuivatetunkin biolietteen kosteuspiitoisuus on suuri ja poltto näinollen epätaloudellista. Metsäteollisuuden lietteistä bioliete on vain yksi osa, jonka kokonaismäärä saattaisi pysyä sellaisena, että siitä valmistetulle kompostille löytyisi menekkiä.

LÄHDELUETTELO

- Aarnio, T. 1984. Kompostoinnin ympäristö- ja terveysvaikutuksia koskevat säädökset ja määräykset. Julk.: INSKO 113-84. Kompostointitekniikka, Helsinki
- Ahtiainen, M. 1983. Lietteen sijoituksesta ja hyödyntämisestä aiheutuvat ympäristövaikutukset. Julk.: INSKO 184-83. Lietteen käsittely ja hyödyntäminen, Helsinki
- Alpert, J.E., Epstein, E., De Groot, C. 1982. Composting offers alternative for effluent plant sludge disposal. Pulp&Paper, 1982, 11.
- Alpert, J.E., Epstein, E. 1981. Composting industrial wastes. Biocycle, 1981, 5.
- Anonyymi, 1981. Columbus aeration system uses drainage tubing. Biocycle, 1981, 1.
- Anonyymi, 1985a. Dom i slammålet, Miljö o Framtid, 1985, 12.
- Anonyymi, 1985b. Patent issued on microbes that eat toxic materials. Biocycle, 1985.
- Aspitarte, T.R., Rosenfeld, A.S., Smale, B.C., Amberg, H.R. 1973. Pulp and paper mill sludge disposal and crop production. Tappi, 1973, 11.
- Carter, C.N. 1983. Composting disposes of sludge, yields byproduct at Glatfelter. Pulp&Paper, 1983, 3.
- De Bertoldi, M., Vallini, G., Pera, A. 1984. Technological aspects of composting including modelling and microbiology. In: Composting of agricultural and other wastes, Lontoo
- De Bertoldi, M., Vallini, G., Pera, A., Zucconi, F. 1982. Comparison of three windrow compost systems. Biocycle, 1982, 2.
- Donovan, J.F., Pincince, A.B., Cohen, I.D. 1981. Vermicomposting of municipal solid wastes. In: Municipal solid waste, EPA-600/9-81-002c
- Edwards, C.A., Burrows, I., Fletcher, K.E., Jones, B.A. 1984. The use of earthworms for composting farm wastes. In: Composting of agricultural and other wastes, Lontoo
- Einspahr, D., Fiscus, M., Gargan, K. 1984. Paper mill sludge as a soil amendment. Tappi Environmental Conference.
- EPA, 1979. Environmental Protection Agency, Process design manual for sludge treatment and disposal, EPA-625/1-79-011, Cincinnati

EPA, 1980. Environmental Protection Agency, Manual for composting sewage sludge by the Beltsville aerated pile method, EPA-600/8-80-022, Cincinnati

EPA, 1984. Environmental Protection Agency, Environmental regulations and technology, use and disposal of municipal wastewater sludge, EPA 625/10-84-003, Cincinnati

EPA, 1985. Environmental Protection Agency, Composting of municipal wastewater sludges, EPA/625/4-85/014, Cincinnati

Epstein, E., Willson, G.B., Burge, W.D., Mullen, D.C., Enkiri, N.K. 1976. A forced aeration system for composting wastewater sludge. Journal WPCF, 1976, 4.

Epstein E., Alpert J.E., Gould M. 1983. Composting: Engineering practices and economic analysis. Water, Science and Technology, pp 157-167, 1983

Ettala, M. 1978. Jätevesiliete maanparannus- ja lannoitusaineena ja sen käyttö Helsingin vesipiirin alueella. Diplomityö, TKK, Espoo

Ettala, M. 1979. Jätevesilietteen käyttöön liittyvät riskitekijät. Ympäristö ja Terveys, 1979, 2/3.

ETY, 1983. Energiataloudellinen yhdistys, Kuitulietteen hyödyntäminen energiakäyttöön, Raportti 7/1983

Finstein, M.S. 1980. Composting microbial ecosystem: implications for process design and control, Compost science/Land utilization, 1980, 4.

Finstein, M.S., Cirello, J., MacGregor, S.T., Miller, F.C., Suler, D.J., Strom, P.F. 1980. Discussion on engineering principles of sludge composting. Journal WPCF, 1980, 7.

Finstein, M.S., Miller, F.C. 1984. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odour control, and cost effectiveness. In: Composting of agricultural and other wastes, Lontoo

Flynn, K.C. 1982. Sludge marketing: The quiet revolution. Journal WPCF, 1982, 9.

From, J.A. 1981. Norges Storste kompostreaktor. Teknikk og miljo, 1981, 2.

Goldstein, N. 1984. Marketing of municipal compost. In: Managing sludge by composting.

Golueke, C.G. 1984. When is compost safe ?. In: Managing sludge by composting.

Gotaas, H.B. 1976. Composting, WHO, Geneva, 6.p.

Grombie, G. 1984. Operational criteria for a composting facility. In: Managing sludge by composting.

Hanioja, P., Latostenmaa, H., Viitasalo, I. 1974. Jätevesilietteen kompostointi, Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Vesiensuojelulaboratorio, Helsinki

Haug, R.T. 1979. Engineering principles of sludge composting. Journal WPCF, 1979, 8.

Haug, R.T. 1980. Compost engineering, principles and practice, Michigan

Haukioja, M., Hovi, A., Rajala, J. 1983. Komposti, Helsinki

Heinemo, S-Å., Brink, N. 1978. Utlakning ur kompost av sopor och slam. Statens naturvårdsverk PM 1095, Uppsala

Higgins, A.J. 1982. Ventilation for static pile composting. Biocycle, 1982, 4.

Higgins, A.J. 1984. Design specifications for using shredded rubber tires as a bulking agent. In: Managing sludge by composting.

Higgins, A.J., Kasper, V.Jr., Derr, D.A., Singley, M.E., Singh, A. 1981. Evaluation of screens for sludge composting. Biocycle, 1981, 3.

Hiltunen, E. 1985. Viheralueiden rakentamisen sekä kunnossapidon kustannukset. Julk.: INSKO 82-85. Viherrakentaminen, Helsinki

Hoitink, H.A.J., Poole, H.A. 1980. Bark compost use in container media. Compost science/Land utilization, 1980, 3.

Hovsenius, G., Moreno, L., Setterwall, F. 1978. Utomhus komposterings av homogeniserat hushållsavfall genom påtvingad lufting. Statens Naturvårdsverk PM 1024, Solna

Hovsenius, G. 1984. Luktproblem vid komposterings, Statens Naturvårdsverk PM 1899, Malmö

Huhta, V. 1983. Lierokompostointi. Julk.: Jäteaineiden käsittely ja käyttö kasvintuotannossa. Suomen Akatemian julkaisuja 5/1983, Helsinki

Jäppinen, H. 1986. Metsäteollisuuden lietteiden määrä, laatu ja käsittelytavat. Julk.: INSKO 41-86, Metsäteollisuuden lietteenkäsittely. Helsinki

Jäppinen, H., Mukala, K., Pekkanen, M. 1985. Metsäteollisuuden lietteiden käsittely ja käyttö 1990- luvulla. Julk.: INSKO 99-85, Jätevedenpuhdistamoiden tehostamisen tarpeet 1990- luvulla. Helsinki

Jätehuoltoasetus, 16.3.1979

Kallio, H., Tikanmäki, E. 1982. Composting of sewage sludge and other wastes from a food processing plant in Finland. *Annales Agriculturae Fenniae*, pp. 91-102, 1982

Kaplan, D.L., Kaplan, A.M. 1984. Biochemical considerations for industrial waste composting. In: *Managing sludge by composting*.

Kemppainen, E. 1979. Kompostointi jätevesilietteen hyödyntämiskeinona. *Vesihallitus, tiedotus No.178*, Helsinki

Kivinen, M. 1981. Puun kuori ja sen käyttö maanparannusaineena. *Julk.: Helsingin Yliopiston mikrobiologian laitoksen laudaturseminaarisesitelmät, 1981*

Korhonen, P. 1984. Eräiden paperitehtaiden mikrobiologinen vesistökuorma. *Laudaturtyö, Helsinki*

Koskela, I. 1984a. Kompostituotteen laatuvaatimukset sekä käyttösovellutukset. *Julk.: INSKO 113-84, Kompostointitekniikka, Helsinki*

Koskela, I. 1984b. Lietteen käyttötavat ja käytön edullisuus maanviljelyksessä. *Julk.: Jätevesilietteen käsittely ja hyötykäyttö, Suomen kaupunkiliitto, kaupunkiopisto, Espoo*

Kuchenrither, R.D., Martin, W.J., Smith, D.G., Williams, D.W. 1985. Design and operation of an aerated windrow composting facility. *Journal WPCF, 1985, 3.*

Kuter, G.A., Hoitink, A.J., Rossman, L.A. 1985. Effects of aeration and temperature on composting of municipal sludge in a fullscale vessel system. *Journal WPCF, 1985, 4.*

Lahtinen, P. 1983. Lietteen käyttö viherrakentamisessa. *Julk.: INSKO 185-83, Lietteen käsittely ja hyödyntäminen, Helsinki*

Latschinoff, M. 1979. Neuvostoliiton sellu- ja paperiteollisuusjätevesien biologista puhdistusta koskeva selvitys. *Diplomityö, TKK, Espoo*

Lehtokari, M. 1980. Jätevesipuhdistamolietteen ja puunkuoren kompostointi. *Loppuraportti kenttäesikokeesta, Turun Yliopisto, Biokemian laboratorio, Turku*

Lehtokari, M. 1984. Kompostoinnin biotekniset perusteet. *Julk.: INSKO 113-84, Kompostointitekniikka, Espoo*

Lehtokari, M. 1985. Kasvien ja eläinten käyttö jäteveden puhdistuksessa ja jätevesilietteiden käsittelyssä. *Julk.: INSKO 268-85, Jäteveden puhdistuksen uudet menetelmät ja laitteet, Helsinki*

Lehtokari, M., Paatero, J. 1980. Seosaineiden kierrätys ja lietetuotteiden käyttö seosaineina jätevesilietteen kompostoinnissa. Vesitalous 1980, 6.

Lehtokari, M., Paatero, J. 1981. Kompostointiprosessin seurantamenetelmistä. Vesitalous 1981, 1.

Lehtokari, M., Paatero, J. 1984. Composting of dewatered sewage sludge in a horizontal agitated bed reactor using compost recycle for moisture control. 6th European sewage and refuse symposium, EWPCA, Munich.

Lehtonen, O. 1986. Lietteenpolttomenetelmät- ja laitteet. Julk.: INSKO 41-86, Metsäteollisuuden lietteenkäsittely. Helsinki

Lewis, W.R., Bhatt, H.G., Dee, W.P., Lindsey, R.D., Cox, R.E., Johnson, J.L. 1984. Determining a market for sludge compost, In: Managing sludge by composting.

Lilja, R. 1981. Talousjätteen kompostointi jätehuollon osana. Ympäristö ja terveys, 1981, 3.

Lilja, R. 1982. Taajamien talousjätteen kompostoinnin kannattavuus. Joensuun Korkeakoulu, Karjalan tutkimuslaitoksen julkaisuja No. 49, Joensuu

Lilja, R. 1983. Kompostointiin soveltuvat teollisuus- ja yhdyskuntajätteet. Sisäasiainministeriön ympäristönsuojeluosaston julkaisu D:13, Helsinki

Lilja, R., Paatero, J. 1983. Yhdyskuntajätteen hyötykäytön edistäminen erottamalla kompostointikelpoinen jäte syntypaikalla. Ympäristön- ja luonnonsuojeluosaston julkaisu A:4, Ympäristöministeriö, Helsinki

Lilja, R., Tahvanainen, J. 1985. Kompostointiin soveltuvat teollisuus- ja yhdyskuntajätteet ja niiden hyödyntäminen, loppuraportti. Ympäristön- ja luonnonsuojeluosaston julkaisuja A:28, Ympäristöministeriö, Helsinki

Lindfors, L-G., Kulander, K-E., Fredriksson, S., Gjärdloff, K., Pettersson, K., Melander, E., Törner, L. 1979. Utvärdering av i Sverige tillämpade metoder för bark-/slamkompostering. IVL B 541, Stockholm

Lindholm, G. 1986. Metsäliiton teollisuus OY Kirkniemi, Henkilökohtainen tiedonanto.

Logan, T.J., Esmaeilzadeh, H. 1985. Utilizing papermill sludge, use on cropland. Biocycle, 1985, 4.

Lääkintöhallituksen yleiskirje No. 1637, 1977. Ohjeet terveydellisten haittojen estämiseksi jätevesilietteitä hyödynnettäessä, Helsinki

Malot, J.J., Richardson, G.N. 1983. Applying mill waste to land proves successful for Federal, Southern Pulp and Paper, 1983, 4.

Miller, F.C., Finstein, M.S. 1985. Materials balance in the composting of wastewater sludge as affected by process control strategy, Journal WPCF, 1985, 2.

Miller, F.C., MacGregor, S.T., Psarianos, K.M., Cirello, J., Finstein, M.S. 1982. Direction of ventilation in composting wastewater sludge, Journal WPCF, 1982, 1.

MKL, 1984. Maatalouskeskusten liitto, Puhdistamoliikkeen käyttö, Sarja: Tieto tuottamaan No. 33.

Mäkelä, H. 1983. Liikkeen tiivistys, kuivaus ja jatkojalostus, Julk.: INSKO 185-83, Liikkeen käsittely ja hyödyntäminen, Helsinki

Mäkelä, J., Lehtokari M., Salmelainen A. 1981. Turkiseläinten lannan kompostointi, Turkistalous, 1981, 5.

Määttä, R., Latola, P. 1980. Metaanikaasun (energian) tuottaminen erilaisista orgaanisista jätteistä, Espoo

NCASI, 1978. National council of paper industry for air and stream improvement, A review of the operational experience with belt filter presses for sludge dewatering in the North American pulp and paper industry, Technical bulletin No. 315, New York

NCASI, 1984. National council of paper industry for air and stream improvement, The land application and related utilization of pulp and paper mill sludges. Technical bulletin No. 439, New York

NCAT, 1984. National center for appropriate technology, Vermicomposting on a municipal scale. In: Managing sludge by composting.

Nickull, S. 1985. Kuoren ja puujätteen poltto, Julk.: INSKO 257-85, Kuitupuun käsittely, Helsinki

Olver, W.M. 1980. Cold weather sludge composting works in Maine, Compost science/Land utilization, 1980, 5.

Paatero, J. 1978. Maanparannusainetta jätevesiliikteenestä, Kunnallistekniikka 1978, 2.

Paatero, J. 1979. Liikteen hyötykäyttö kompostoimalla. Ympäristö ja terveys, 1979, 2/3.

Paatero, J., Lehtokari, M. 1980. Kompostointiprosessin pääpiirteet, Vesitalous 1980, 1.

Paatero, J., Lehtokari, M., Kemppainen, M. 1984. Kompostointi. Juva

Paulsrud, B., Eikum, A.S. 1984. Experiences with lime stabilization and composting of sewage sludge. In: Sewage sludge stabilisation and disinfection.

Pekkanen, M. 1976. Jätevesien selkeytys ja lietteen käsittely, Julk.: INSKO 147-76, Metsäteollisuuden jätevedet, Helsinki

Pepin, R.G., Coleman, P. 1984. Paper mill sludge and ash as soil conditioner, Biocycle, 1984, 3.

Puolanne, J. 1975. Lietteiden käsittelyn terminologia ja lietetutkimus, Julk.: INSKO 81-75, Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely, Helsinki

Puolanne, J. 1985. Puhdistamolietteen hyötykäyttö lisääntyy, Jäte ja ympäristö, 1985, 5.

Puolanne, J. 1986. Lietteen loppusijoitus. Julk.: INSKO 41-86, Metsäteollisuuden lietteenkäsittely, Helsinki

Puolanne, J., Kiiskinen, S. 1984. Biological treatment of sewage sludge. 6th European sewage and refuse symposium. ISWA. 22-25. 5. 1984, Munich

Rinne, S.-L., Sippola, J. 1984. Maatalouden jätteen kompostointi. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote No. 23/84, Jokioinen

Saari, S., Raitanen, J., Kiukaanniemi, E. 1985. Maaseutukunnan jätehuollon suunnittelun lähtökohdat. Ympäristön- ja luonnonsuojeluosaston julkaisu A:30, Helsinki

Sandelin, S. 1985. Carrousel- tyyppisen nitrifikaatio- prosessin ja sen käyttökustannusten optimointi, Diplomityö, TTKK, Tampere

Shea, T.G., Braswell, J., Coker, C.S. 1980. Bulking agent selection in sludge compost facility design. Compost science /Land utilization, 1980, 6.

Sikora, L.J., Ramirez, M.A., Troeschel, T.A. 1983. Laboratory composter for simulation studies. Journal environmental quality, 1983, 2.

Simpson, G.G., King, L.D., Carlile, B.L., Blickensderfer, P.S. 1983. Paper mill sludges, coal fly ash, and surplus lime mud as soil amendments in crop production, Tappi Journal, 1983, 7.

Sisäasianministeriö, 1982. Jätteidien käsittelyä koskevat ohjeet, Helsinki

Smith, K.E. 1980. Sludge disposal costs reduced in Appleton s land application program. Pulp & Paper, 1980, 11.

Smith, R.C. 1984. Cold Weather composting and odor control, Biocycle, 1984, 5.

Smyser, S. 1982. Compost paying its way for paper producer, Biocycle, 1982, 3.

SNV, 1984. Statens naturvårdsverk, Undersökning av kompostmognad, PM 1791, Malmö

Stentiford, E.I., Mara, D.D., Taylor, P.L. 1984. Forced aeration co-composting of domestic refuse and sewage sludge in static piles. In: Composting of agricultural and other wastes, Lontoo

Sullivan, M.D. 1970. Activated sludge soil conditioner ups crop returns at Kimberly- Clark, Pulp & Paper, 1970, 4.

Suomen kunnallisteknillinen yhdistys, 1983. Julkaisu No.16, Viheralueiden tekniset ohjeet 1983, VTO -83, Jyväskylä

Thiel, D.A. 1984. Sweet corn crown on land treated with combined primary/secondary sludge, Tappi Environmental Conference 1984

Thun, R., Brandt, J., Kytö, M., Tuulenheimo, V., Äijälä, M. 1984. Vähän maatuneen pintaturpeen hyödyntämisvaihtoehdot, VTT, Tiedote 377, Espoo

Valo, R., Salkinoja-Salonen, M. 1984. Kemiaallisesti likaantuneen maan puhdistaminen mikrobien avulla. Kemia-Kemi, 1984, 11.

Van der Hoek, K.W., Oosthoek, J. 1984. Composting: Odour emission and odour control by biofiltration, In: Composting agricultural and other wastes, Lontoo

VAPÖ, 1979. Jätevesipuhdistamon lietteen kompostointi kasvatukseen avulla, 1.11.1979, Jyväskylä

Watson, M.E., Hoitink, H.A.J. 1985. Utilizing papermill sludge, longterm effects in stripmine reclamation, Biocycle, 1985, 4.

Vesihallitus, 1977. Tutkimuksia jätevesilietteen kunnostuksesta ja koneellisesta kuivauksesta, Tiedote 127, Helsinki

Vesihallitus, 1983. Ympäristölle vaaralliset aineet, Vesiensuojelun tavoiteohjelman projektin osaraportti No. 3, Vh:n monistesarja 1983:189, Helsinki

Viitasalo, I. 1976. Kompostimullan valmistaminen Helsingissä, Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Vesilaboratorio, Muistio 1976-02-11, 1976-03-6

Viitasalo, I. 1983. Lietteen kompostointi, Kompostointiseminaari, Kymen lääninhallitus, Kouvola, 21.9.1983

Willson, G.B. 1983. Forced aeration composting, Water, Science and Technology, pp. 169-180, 1983

Virtanen, E. 1979. Puhdistamolietteen hyväksikäyttö Hämeenlinnan kaupungissa, Ympäristö ja terveys, 1979, 2/3.

Väänänen, P. 1984. Metsäteollisuuden jätevesien lietteiden käsittely. Julk.: INSKO 81-84, Metsäteollisuuden vesistökuormituksen pienentäminen, Helsinki

Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., De Bertoldi, M. 1981. Evaluating toxicity of immature compost, Biocycle, 1981, 2.

investointi- ja pääomakustannukset

	Malmö		Hyltebruk		Göteborg		Fagersta		Avesta	
	invest.k	pääomak	invest.k	pääomak	invest.k	pääomak	invest.k	pääomak	invest.k	pääomak
rakennukset	-	-	-	-	54843	5787	1930466	203663	1078026	113732
koneet	5242939	978004	913718	139342	1116469	233515	1768487	269693	1604679	244714
pohjatytöt	3981586	420058	1673071	176509	1645284	173577	-	-	782058	82508
muut	-	-	361962	55200	-	-	-	-	247707	34342
yhteensä	9224525	1398062	2948751	371051	2816596	412879	3698953	473356	3712470	475296

Lieteseoksen valmistuskustannukset eri työkoneita käytettäessä (mitoitustuseruste 5434 t/a lietteen k.a.)
(Lilja ja Tahvanainen 1985)

laite	sekoituskyky ¹ m ³ /h lieteseosta	tuotantokustannus mk/t lietteen k.a. (hintataso 1983:6)
eräkäyttöinen liikkuva sekoitusasema	36	35
kauhakuormaaja	36	70
eräkäyttöinen, liikkuva sekoitus- asema (6,1 m ³)	13,5 (tarvitaan 2 yksikköä)	100
eräkäyttöinen, liikkuva sekoitus- asema (14,6 m ³)	31	65
jatkuvatoiminen siipiakselimylly	17	130

Lähde: Higgins ym. 1981.

- Huom. ¹ Seosaineena hake, seossuhde 1:1, lietteen k.a. 25 %, seoksen tilavuudeksi oletettu 75 % seosaineiden yhteistilavuudesta.
² Lapasekoitin Arts-Way Silamix M859, tilavuus 9,0 m³.
³ Fiat-Allis 645-B.
⁴ 4-ruuvisekoitin, traktorin perävaunusovitteinen Van Dale Mobile Mixer.
⁵ McLanahan Pug Mill Mixer, viipymä 1...2 min.

LIITE lääkintöhallituksen yleiskirjeeseen no. 1637

Lietettä hyötykäyttöön luovuttaessaan puhdistamon tulee esittää tiedot lietteen ominaisuuksista esimerkiksi oheisen mallin mukaisena selosteena. Lietteiden laatutietojen tulee perustua enintään vuoden vanhoihin tutkimustuloksiin.

LIETTEEN LAATU

Alkuperä:

Lietetyyppi: kts. yleiskirje kohta 1.1.

Käsittely: " " "

Analyysitulokset (. .19)

Tutkimuslaboratorio:

	Pitoisuus lietteessä	Määrä/m ³ lietettä
Kuiva-aine (ka.)	%	kg
pH		
Tyyppi (kokonais)	%ka.:sta	kg
Fosfori	"	"
Kalium	"	"
Kalsium	"	"
Sinkki	g/kg.ka.	g
Kupari	"	"
Mangaani	"	"
Lyijy	"	"
Bromi	mg/kg.ka.	"
Nikkeli	"	"
Koboltti	"	"
Kadmium	"	"
Elohopea	"	"

